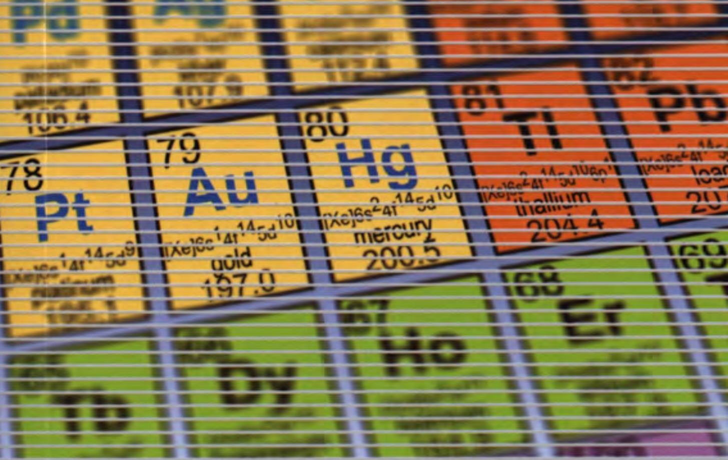


PHILIP BALL

ELEMENTLER

KÜLTÜR KİTAPLIĞI 155

DOST

Philip Ball

Oxford Üniversitesi'nde kimya, Bristol Üniversitesi'nde fizik okuyan, dünya çapında ilgi ve saygı gören bilim dergisi *Nature*'ın yazar ve editörlerinden olan Ball, fizik biliminden uluslararası basın ve radyo-televizyon yayıncılığına dek birçok alanda yapıt vermiştir.

Ball, Philip
Elementler
ISBN 978-975-298-541-4 / Türkçesi: Nursu Örge
Ekim 2015, Ankara, 221 sayfa
Kültür Kitaplığı: 155; Bilim: 11

Elementler

Philip Ball

DOST

ISBN 978-975-298-541-4

The Elements
Philip Ball

Türkçesi, Nursu Örge

Yayına hazırlayan, Rojda Yıldırım

Teknik hazırlık, Mehmet Dirican

Erdal Akalın - Dost Kitabevi
Sertifika No: 12386
Paris Cad. No: 76/7, Kavaklıdere 06680 Ankara
Tel: (0.312) 435 93 70 • Faks: (0.312) 435 79 02
www.dostyayinevi.com • bilgi@dostyayinevi.com

Baskı, Pelin Ofset Ltd. Şti.
Sertifika No: 16157
İvedik Organize Sanayi Bölgesi, Matbaacılar Sitesi
1514. Sokak no: 28-30 Yenimahalle / Ankara
Tel: (0.312) 395 25 80-81 • Faks: (0.312) 395 25 84

İÇİNDEKİLER

Önsöz

Moleküllere bir giriş olarak yazdığım *Stories of the Invisible* (Görünmeyene Dair Öyküler) kitabıma eşlik etmesi için benden elementler üzerine bir giriş kitabı hazırlamam istendiğinde karmaşık duygular yaşadım. Acaba önceki kitabımda Periyodik Tablo'ya, yani şu bilinen tüm kimyasal elementlerin meşhur portresine hak ettiği ilgiyi yeteri kadar göstermemiş miydim? Kitapta özellikle şunu belirtmiştim: Kimyanın bu tabloyla başladığı gerçeğini kimyacılar yeteri kadar ifade edemiyorlar, çünkü moleküler bilimin temel anlayışına göre şu an tabloda yer alan yüz ya da daha fazla elementin yalnızca belli bir kısmıyla ilgilenmek yeterli. Hiçbir piyano eğitmeni öğrencisinden daha ilk derslerde klavyedeki tüm notaları kullanarak çalmasını istemez. Doğru olan yalnızca birkaç notayla nasıl birtakım basit melodiler oluşturabileceğini göstermek olacaktır. Müziğin de *esasında* notalardan ziyade melodi, akor ve armoni olduğunu düşünürsek eğer, kimya da elementlerden ziyade bileşikler ve moleküller demektir.

Ne var ki, kimyacı olan hiç kimse yoktur ki gönlünde elementlerin ayrı bir yeri olmasın ve ben de bunlardan biriyim. Diğer çocuklar pul ya da madeni para biriktirir-

ken element toplamayı tercih eden Oliver Sacks da bu gruba dahildir. Sacks'ın arzusu tüm elementlere sahip olabilmekti. 1940'larda koleksiyonunuzu genişletmek çok da zor değildi: Sacks, Londra'nın kuzeyinde bulunan Finchley'de Griffin & Tatlock'a gidip cep harçlığıyla bir sodyum parçası satın alıyor, sonra da evinin yakınlarındaki Highgate Göletleri'nin yüzeyine fırlatıp fokurdayışını izliyordu. Nasıl da imreniyorum ona; benimse tek yapabildiğim okul laboratuvarından sülfür parçaları ve cıva şişeleri aşırabilmekti. Bu elementler benim için tıpkı değerli birer taş ya da muhteşem birer şekerleme gibiydiler. Onlara dokunmak ve koklamak istiyordum ama neyse ki sağduyum tatlarına bakmama engel olabilmişti. Onları dokunarak hissedebildiğim zaman bu maddelerin ne denli saf, alaşımsız ve indirgenemez oldukları gerçeğini daha güçlü bir şekilde duyumsuyordum. Onlar ki yaradılışın ilksel maddeleri, avuçlarımın içindeydiler.

O nedenle, elementlerle ilgili bir şeyler yazma fırsatına asla karşı koyamayacağımı biliyordum. Öte yandan, elementlere dair bir giriş hazırlamanın salt bir Periyodik Tablo turu yapmak anlamına gelmesi gerekmediğini de düşünüyordum – ki daha önce bunu başkaları benim yapabileceğimden çok daha büyük bir beceriyle ya da daha kapsamlı bir biçimde gerçekleştirmişlerdi. Elementlerin öyküsü, bizim maddeyle kurduğumuz ve tüm Periyodik Tablo anlayışlarını önceleyen bir ilişkinin de öyküsü. Maddeyle yakın bir ilişki kurabilmeniz için muhakkak silisyum, fosfor ve molibdene dair detaylı bir bilginiz olması şart değil; gümüş bir külçenin o hoş yoğunluğu, suyun serin tatlılığı ve cilalı yeşimtaşının pürüzsüzlüğüdür asıl cezbedici olan.

Ve en temel sorunun da kökeni bu ilişkide yatar: Dünya neden yapılmıştır?

O nedenle, bu kitapta Periyodik Tablo'da yer almayan "elementler" olduğunu da göreceksiniz: Su ve hava, tuz ve mahir flojiston. Artık kimya tüm bunları bileşiklerine ayrıştırmış veya toptan reddetmiş dahi olsa, her biri bu tablonun bir mirası ve kültürel sembollerle dolu bir havuzun öğeleri.

Bu kitapla ilgili yorumları, önerileri ve içerik sağlamaları nedeniyle Al Ghiorso, Darleane Hoffmann, Scott Lehman, Jens Nørskov ve Jim White'a sonsuz minnet borçluyum. Benden bu kitabı yazmamı isteyen Shelley Cox'a da bana güvendiği ve gösterdiği büyük ilgi için ayrıca müteşekkirim.

Philip Ball

Londra
Mart 2012

I. Bölüm

ARİSTOTELES DÖRTLÜSÜ: ANTİK DÖNEM ELEMENTLERİ

1624 senesinde Fransız kimyacı Étienne de Clave kâfirlik gerekçesiyle tutuklandı. Oysa, De Clave'ın kabul edilemez bulunan düşüncelerinin Kutsal Kitap'ın yorumlanışıyla hiçbir ilgisi yoktu. Öyle ki, bu düşünceler, Galileo'nun oldukça cesurca yaptığı gibi, insanın evrendeki yerini dahi sorgulamaya kalkmıyordu.

Étienne de Clave'ın kâfirlikle suçlanmasının nedeni elementlerdi. O, tüm maddelerin iki elementin –hava ve su– bileşiminden ve, ayrıca, bu ikisinin de cıva, sülfür ve tuzdan oluşan diğer üç temel madde veya "ilke" ile bir "karışım" sonucu meydana geldiğine inanıyordu. Bu yeni bir düşünce değildi: 1610 yılında yayımlanan ve ilk kimya ders kitaplarından biri olan *Tyrocinium chymicum*'u (Yeni Başlayanlar için Kimya) kaleme alan ünlü Fransız eczacı Jean Béguin de 1620 yılındaki ölümüne dek tüm maddelerin bu beş temel bileşenden oluştuğunu savunmuştu.

Ne var ki, Étienne de Clave'ın özgün bir şeyler ortaya koyabilme uğraşı ona yarardan çok zarar getirmişti. Onun

düşüncesini sapkın kılan unsur, antik Yunanların ortaya koyduğu ve en itibarlı filozofları Aristoteles'in de onayladığı elementler sistemiyle çelişmesiydi. Aristoteles bu tasarıyı hocası Platon'dan almış, ardından, Atina'nın Altın Çağı olarak anılan ve MÖ 5. yüzyıldaki Perikles demokrasisi döneminde yaşamış bir filozof olan Empedokles'e aktarmıştı. Empedokles'e göre dört element vardı: toprak, hava, ateş ve su.

Roma İmparatorluğu'nun çöküşünün ardından kültürel bir karmaşa içine sürüklenen Ortaçağ Batısı'nı Karanlık Çağların yarattığı travmanın etkisinden kurtaran etken, antikiteyi inceleyen âlimlerin düşüncelerini Hıristiyanlık öğretileriyle buluşturması olmuştu. Artık Aristoteles sözü Tanrı'nın otoritesi anlamına gelmeye başlamıştı; ve onu sorgulamak da Tanrı'ya küfürle eşdeğer olmuştu. Batı dünyasının evrenin kanunlarını kendi aklıyla ortaya koyma becerisine yeniden kavuşması ancak on yedinci yüzyılın sonlarına doğru, yani Galileo, Newton ve Descartes'ın keşifleriyle gerçekleşmişti.

İşte, Parisli bir soylu olan François de Soucy'nin evinde, 1624 yılının Ağustos ayında, Aristotelesçi olmayan bir yaklaşımla elementleri tartışmak üzere biraraya gelen Étienne de Clave ve bir avuç Fransız entelektüelinin bu girişimlerinin parlamento emriyle durdurulması ve toplantıyı tertip eden kişinin tutuklanması da bundandı.

Çıkan ihtilafların nedeni bilimle de pek alakalı değildi aslında. Otorite sahiplerinin bir kuramı savunmak için kanunları kullanmaları ve baskı uygulamaları, elementlerin doğasına duydukları derin bir ilginin göstergesinden ziyade, mevcut yapıyı koruma arzularının bir yansımasıydı.

Tıpkı Galileo'nun Engizisyondan önce görülen davasında olduğu gibi asıl mesele "hakikat" değil, bir iktidar mücadelesiydi ki bu da Reform karşıtlığındaki dinsel dogmatizmin bir göstergesiydi.

Bu tür baskılardan azat olan antik Yunanlar ise elementleri çok daha özgür bir biçimde tartışabilmişlerdi. Aristoteles dörtlüsünden önce de pek çok başka element tasarısı ortaya konmuştu, ki aynı dönemlerde bile farklı tasarılar olabiliyordu. Hatta İsviçreli bilgin Conrad Gesner, 16. yüzyılda, Thales (MÖ 6. yüzyılın başlarından itibaren) ve Empedokles'in yaşadığı zaman aralığında en az sekiz tane element sisteminin var olduğunu bulgulamıştı. 1624 yılında yapılan suçlamalar ise Aristoteles dörtlüsünün ayrıcalıklı konumunu korumayı bilakis daha da güç bir hale getirmiş, hatta maddenin neden meydana geldiği sorusunun yeniden gündeme gelmesini sağlamıştı.

Madde neden meydana gelir? Bu zaten kısa bir kitap, ancak bu sorunun yanıtını çok daha kısa bir şekilde vermek mümkün. İnsan eliyle yapılmış, giderek sayıları artan ve alt sırada yer alanlar dahil bilinen tüm elementler kimyada kullanılan Periyodik Tablo'da listelenmişlerdir ve bu tablo oldukça kapsamlıdır. İşte, yanıt karşınızda. Elementler bunlardır: Ne bir, ne dört ne de beş, doğada tam doksan iki farklı element tespit edilmiştir.

Madde neden meydana gelir? Periyodik Tablo, bilimsel başarının doruk noktalarından biri olmakla birlikte, bu sorunun yanıtını tam manasıyla vermiyor. Örneğin, atomik yapıtaşlarının tabloda gözükenden çok daha hassas değişkenlikler göstermeleri (ileride göreceğimiz üzere) gibi bir durum söz konusu. Bir anlığına bu atomların asli ve

kesin olmadıklarını, bunların başka maddelerin bileşimleri olduklarını düşünelim. Şimdilik pek çok insanın bu elementlerin nasıl göründüklerini ve nasıl davrandıklarını bilmek bir yana, adlarını bile duymadıklarını göz ardı edelim. Ve bir taraftan da, elementlerin atomlarının çoğunlukla molekül denilen bir yapıda birleşmelerine odaklanalım, ki atomların özelliklerini yalnızca bu elementlerin doğalarına bakarak sezinlemek pek kolay değildir.* O zaman dahi yalnızca Periyodik Tablo'dan yola çıkarak Aristoteles'in ve 18. yüzyıla dek herkesin maddenin neden meydana geldiği konusunda son derece hatalı olduklarını söyleyemeyiz. Elementleri soruştururken onların maddesine, doğasına dair bir şeyler öğrenebiliriz, ancak bunu salt bugünün yanıtına değil (ki aslında doğru olan odur), meselenin başka dönemlerde ele alınış biçimine bakarak yapabiliriz. Bu doğrultuda işimize en çok yarayacak şey, bir listeden ziyade soruşturmanın bizzat kendisini keşfetmek olacaktır.

Madde neden meydana gelir? Toplum olarak kafamızı daha çok bileşim meselelerine takmış durumdayız ki bunda haksız da değiliz. Örneğin, karlar altındaki Antarktika'da çıkan petrolde kurşuna rastlanıyor; Güney Amerika'da balıklarda cıva zehirlenmesi görülüyor. Granit üzerine inşa edilmiş bölgelerdeki toprakta bulunan radon bir sağlık tehdidi ve Bangladeş'teki su kuyuları da doğal arsenikle kirleniyor. Öte yandan, kalsiyum takviyeleri kemik erimesi hastalıklarıyla mücadelede kullanılıyor; demir ise anemiyi önlüyor. Kimi elementlere muhtaçken, kimilerinden mümkün olduğu kadar sakınmamız gerekiyor.

* Bu kitapla birlikte okunabilecek *Stories of the Invisible* (Oxford: Oxford University Press, 2001) başlıklı kitabın konusu da moleküllerdir.

İlk bakışta doğada bulunan elementlerin sayısı pek fazla değilmiş gibi görünüyor. Örneğin, bunlardan yalnızca dört tanesi bedenimizdeki moleküllerde sürekli bir karılma halinde: Karbon, nitrojen, oksijen ve hidrojen. Fosfor ise yalnızca kemikler için değil, yaşamın tüm formlarını düzenleyen DNA molekülleri için vazgeçilmez bir element. Proteinlerin karmaşık yapılarını korumaya yarayan sülfür ise burada son derece önemli bir bileşen. Ne var ki, tüm bu anahtar oyuncuların ötesinde yaşam için zaruri olan pek çok başka element var. Bunların çoğunluğunu da metaller oluşturuyor: Demir kanımızı kırmızı yapar ve hücrelerimize oksijen taşınmasına yardımcı olur; magnezyum besin piramidinin en altındaki klorofilin güneş ışığındaki enerjiyi yakalamasını sağlar; sodyum ve potasyum sinirlerimizdeki elektrik yükünü taşırlar. Var olan tüm doğal elementler arasından on birinin yaşam için gereken temel öğeler olduklarını söyleyebiliriz ve buna bir de tüm canlı organizmaların az miktarda da olsa ihtiyaç duydukları diğer on beş tane asli eser element de eklenebilir. (Bunların arasında "toksik" arsenik ve "sterilize eden" brom da vardır ki bu da elementlerin bir çırpıda "iyi" ya da "kötü" diye ayrılamayacağının bir belirtisi.)

Tarihin şekillenmesinde de elementlerin Dünya üzerindeki dağılımlarında görülen farklılıkların ne denli etkili olduğu görülür – ticareti canlandırmak, yeni yerler keşfedilmesine ve kültürel alışverişe önayak olmak dışında, aynı zamanda sömürünün, savaşın ve emperyalizmin de artmasına neden olmak. Güney Afrika sahip olduğu altın ve karbon elementi halindeki elmasları nedeniyle çok ağır bedeller ödedi. Tantal ve uranyum gibi nadir ve fakat tek-

nolojik bakımdan oldukça önemli olan elementler bugün hâlâ dünyanın fakir bölgelerinden oldukça tehlikeli ve riskli bir şekilde (ki gerekçeleri ayrı bir konu) çıkarılmaya devam ediyor.

20. yüzyılın ortalarına geldiğimizde doğada bulunan kararlı elementlerin tümü artık biliniyordu. Yine bu dönemlerde yapılan nükleer enerji deneyleri ise daha ağır ve kısa ömürlü radyoaktif elementlerden oluşan apayrı bir tapınağı gün yüzüne çıkardı. Fakat bunların birer çeşni misali, okyanuslara ve havaya mükemmel bir incelikle eklenerek yeryüzüyle kaynaşmalarının ne denli karmaşık bir yapıda olduğu ancak yeni ve son derece hassas kimyasal analiz tekniklerinin geliştirilmesiyle görülebildi.

Ve bugün maden suyu şişelerinde sıralanan sodyum, potasyum, klor ve pek çok başka şey de içtiğimizin yalnızca H_2O olduğu algısını yıkar. Öte yandan, elementler değişkendirler de; artık kurşun su borularıyla kurşun bazlı boyaların üretilmemesinin ve alüminyum pişirme kaplarının demansa yol açma şüphesiyle (doğru veya değil) suçlanmasının ardında bu değişkenlik yatar. Bugün bile âdetler ve kulaktan dolma bilgiler, elementlerin niceliksel etkileri ortaya konmuş olmasına karşın, hâlâ etkili olmaya devam ediyor. Peki, o zaman deterjanlardaki mineral parlatıcılarda alüminyum iyi, ama tencere ve tavalarda kötü mü? Bakır sülfat toksik olabilirken, bakır bileziklerin kireçlenmeyi iyileştirdiği söyleniyor. Doğurganlığı artırsın diye selenyum takviyesi alıyoruz, oysa Kaliforniya'nın doğal sularına karışan selenyum buradaki ekosistemi mahvediyor. Hangimiz içtiğimiz su şişesinde bulunan 0.01 miligramlık potasyumun olması gerekenden az ya da çok olduğunu söyleyebilir?

Bir de dilimize nüfuz etmiş bir element terminolojisi var ki, bir dönem bir şeyin oluşum esası ifade edilirken artık bu niteliğinden farklı bir şekilde kullanılabiliyor. Örneğin, günümüzde tesisat (*plumbing*) işlerinde Romalılar'ın *plumbum* (kurşun) boruları yerine daha çok plastik borular kullanılıyor; kurşunkalemdeki de bildiğimiz kurşun değil aslında. Boyalarda bulunan "kadmiyum kırmızısı"nda çoğu zaman kadmiyum hiç yoktur. Teneke kutularda (*tin cans*) da incecik bir kaplama dışında kalayın (*tin*) izine rastlanmaz çünkü bunun için fazla değerlidir. Beş sentlik Amerikan parasında da (*nickel*) hemen hiç nikel yoktur. Ve acaba bir Fransız en son ne zaman cebinde hakiki gümüşten yapılmış *argent* (gümüş para) şıkırdatıyordu?

İşte, tüm bu nedenlerden ötürü, elementlerin öyküsü, her biri kendine özgü niteliklere ve tuhaflıklara sahip, yaklaşık yüz farklı atomun öyküsünden ibaret değildir. Bu, aynı zamanda, doğa ve maddenin oluşumuyla aramızdaki kültürel etkileşimin bir öyküsüdür. Maddenin yapı taşlarının kademe kademe aydınlığa kavuşturulması ve tabloya dökülmesinden ibaret klasik kimya tarihi, aslında Dünya'nın oluşumsal özelliklerine ve bu özelliklerin insan veya doğa kaynaklı olarak değişebilme niteliğine dair çok daha derin ve yoğun bir incelemeyi de gölgeler.

Bulmacanın parçaları

Element kavramı esas olarak atom fikriyle iç içedir; ne var ki, birinin varlığı diğerini zorunlu kılmaz. Platon'a göre dört asli element vardı, ancak Platon atomların var-

lığını tam olarak kabul etmemişti. Bazı Yunan filozoflar da atomların varlığını savunuyor ama maddenin yalnızca birkaç içeriğe indirgenmesine pek sıcak bakmıyorlardı.

Fiziksel Dünya'nın yapısını ilk kez inceleyenlerden Miletoslu Thales (MÖ 620-555) tek bir temel madde önerisinde bulunmuştur: Su. Bu görüşe mitlerde de sık sık rastlanır. Örneğin, dünyayı yaratırken ilk önce sadece okyanusları oluşturmak, salt İbranilerin Tanrısına özgü değildi. Ancak Thales'in kurduğu Miletos felsefe ekolünden gelen filozoflar, her şeyi oluşturan *prote hyle* ya da "ilk madde" üzerinde bir fikir birliği de sağlayamadılar. Thales'in halefi Anaksimandros da (MÖ 611-547) şeylerin son tahlilde "belirsiz" ve bilinemeyen bir ilk maddeden oluştuğunu ileri sürmüş ancak meseleye daha fazla değinmemiştir. Anaksimenes de (ö. MÖ 500) ilksel olanın su değil hava olduğunda karar kılmıştı. Herakleitos (ö. MÖ 460) ise yaratılışın kaynağının ateş olduğunu öne sürmüştü.

Peki, en başta bir *prote hyle* olduğuna neden inanalım ki – ya da bu bağlamda Dünya'da gördüğümüz pek çok maddenin temelinde herhangi bir element sistemi olduğuna? Neden kayanın kaya, odunun da sadece odun olduğunu düşünmeyelim? Metal, et, kemik, çimen... Antik dönemde de birbirinden ayrı pek çok madde zaten vardı. Neden bunların göründükleri gibi değil de aslında farklı bir şeyin tezahürleri olduklarını düşünelim?

Bazı bilim tarihçilerinin yorumlarına göre, bu antik dönem bilginleri bir tür birlik peşindeydiler: Amaçları Dünya'daki büyük çeşitliliği indirgeyerek daha basit ve kafa karıştırmayan bir düzen ya da plan ortaya koymaktı. Elbette, Yunan felsefesi daha ziyade "asli ilkeler" üzerinde

durmayı yeğliyordu, ancak temel elementlere eğilmenin pratik bir nedeni de vardı: Şeylerin değişmesi. Su donar veya buharlaşır. Odun yanar ve bu esnada ağır bir kütük artık çok hafif küllere dönüşür. Metal erir; besinler sindirilir ve bu sırada büyük bir kısmı midenin içinde her nasılsa kaybolur gider.

Acaba bir maddenin bir başka maddeye dönüşebiliyor olmasının nedeni aslında bunların temelde aynı maddenin yalnızca farklı formları olmasından kaynaklanıyor olabilir miydi? Element fikrini doğuran, bir birlik kuramı ardına düşen filozofların, fizikçilerin antik dönemdeki muadilleri olmaları değildi elbette; onların yaptığı, gündelik yaşamda gözlemledikleri dönüşümleri anlamaya çalışmaktı.

Bu amaçla yola çıkan Anaksimandros da değişimin karşıt niteliklerin karşı karşıya gelmesiyle olduğuna inanıyordu: Sıcak ve soğuk, kuru ve ıslak. Empedokles (MÖ 490-430) Batı doğa felsefesinde itibar gören dört element önerisini getirdiğinde, o da dönüşümlerin bir çatışma içerdiğini ileri sürdü.

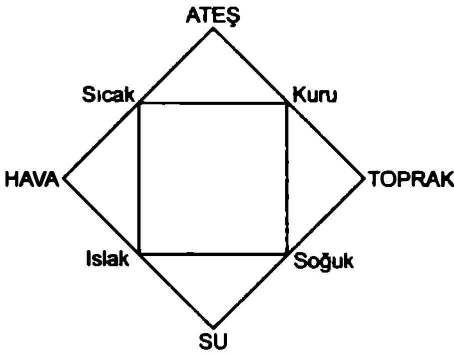
Empedokles pek öyle aklı başında ve saygın bir Yunan filozof kalıbına uymuyordu. Rivayete göre, ölüleri diriltebilen keramet sahibi bir büyücüydü. Yine, söylentiye göre, ölümsüz bir tanrı olduğuna inanan Empedokles kendini Etna Yanardağı'nın ağzından içeri atarak can vermişti. Belki de Aşk ve Nefret gibi renkli bir ilke uyarınca onun toprak-hava-ateş-su dörtlüsünün farklı karışımlara –doğal Dünya'nın özdekleri– dönüşmesine şaşırmamak gerek. Aşk karışıma yol açar, Nefret ise ayrıştırır. Bu ikisi arasındaki çatışma bir o yana, bir bu yana gider durur: Kimi zaman Aşk egemen olur ve şeyler karışır, fakat sonra Nef-

ret gelir ve bunları ayırır. Empedokles bunun yalnızca elementler için değil, aynı zamanda insanlar ve kültürler için de geçerli olduğunu söylemişti.

Empedokles'in dört elementi, *prote hyle*'nin bir çoğaltımından ziyade, onun pürüzlerini gideren bir cilaya benzer. Aristoteles son tahlilde yalnızca tek bir ilksel töz olduğu konusunda onunla hemfikirdi. Ne var ki, maddenin felsefesine bir temel teşkil edebilmesi bakımından fazlasıyla uzak, fazlasıyla bilinmezdi. O nedenle, ölçülmesi imkânsız şey ile elle tutulur dünya arasında bir çeşit aracı olarak Empedokles'in dört elementini kabul etti. Aristoteles'in bu denli etkili olabilmesinin bir nedeni de kozmik soruları daha altından kalkılabilir olanlara indirgeyebilme güdüsü olmuştu.

Anaksimandros'un hem dönüşümde hem de elementleri deneyimleyişimizde kilit rolün sıcaklık, soğukluk, ıslaklık ve kuruluk gibi niteliklere ait olduğu görüşünü Aristoteles de paylaşıyordu. Suyu deneyimleyebiliriz çünkü su ıslak ve soğuktur. Aristoteles'in ontolojisinde elementlerin her biri bu iki niteliği taşır ki böylelikle bu niteliklerden yine her biri bir diğerine dönüşebilir. Islaklığın kuruluğa dönüşmesi sırasında ıslak ve soğuk su, kuru ve soğuk toprağa dönüşür (Resim 1).

Bu antik dönem filozoflarının sanki bir centilmenler kulübündelermiş gibi, kâh birbirlerine iltifatlar yağdırdıklarını, kâh sert eleştirilerde bulunduklarını hayal ederiz; ve çoğu zaman deney yaparak ellerini kirletmekten kaçınan "masabaşı" bilim insanları olmaktan öteye gidemeyen kişilermiş gibi düşünürüz onları ki bu da gerçeklikten pek uzak değil aslında. Atomlarda görülen kararsızlıkları tartışanlara dair de benzer bir izlenim yok değildir.



Resim 1. Aristoteles, Empedokles'in dört elementinin her birinin, birbirlerine dönüştürülebilir iki niteliği massettiğine inanıyordu.

Miletoslu Leukippos (MÖ 5. yüzyıl) genel olarak atom kavramını ilk ortaya atan kişi olarak tanınır, ancak hakkında bunun dışında fazla bir bilgimiz yok. Leukippos bu çok küçük parçacıkların hepsinin aynı ilksel tözden oluştuğunu, ancak farklı maddelerde, farklı şekillerde olduklarını söylemişti. Öğrencisi Demokritos (MÖ 460-370) bu parçacıklara, kesilemeyen veya bölünemeyen anlamlarına gelen *atomos* adını vermişti. Demokritos her bir elementin atomlarının, bu elementlerin özelliklerini belirleyen şekillere sahip olduğunu varsayarak, bu ham atom kuramını klasik elementlerle bağdaştırmıştı. Ateş atomları diğerleri ile karışamazken, diğer üç elementin atomları katı ve elle tutulur maddeler oluşturmak için iç içe geçebilirlerdi.

Atom taraftarlarını karşıtlarından ayıran, maddeyi oluşturan küçük parçacıklara inanıyor olmalarından ziyade, bu parçacıkları neyin ayırdığı meselesiydi. Demokritos

atomların bir tür boşluk içinde hareket ettiklerini düşünüyordu. Diğer filozoflar bu "hiçlik" fikrini saçma buluyor ve elementlerin tüm uzayı kapladıklarını söylüyorlardı. Atina'da hem Perikles hem de Euripides'i eğiten Anaksagoras (MÖ 500-428) parçacıkların küçüklüklerinin bir sınırı olamayacağını, dolayısıyla maddenin sonsuz kere bölünebilir olduğunu ileri sürmüştü. Bu da şu anlama geliyordu: Tanecikler, tıpkı taşların içindeki kum gibi, daha büyük tanelerin arasında kalan her bir köşeyi dolduruyordu. Aristoteles de atomlar arasındaki boşlukları havanın doldurduğunu savunuyordu ki bunun için de suçlanamazdı doğrusu. (Zira bu düşünce ancak havanın da aslında atomlardan *meydana geldiğini* kabul ederseniz sorunlu olabilir.)

Platon meseleyi gayet derli toplu biçimde ele aldı. Demokritos gibi bir atom taraftarı değildi, ancak Empedokles'in dört elementinin atom benzeri temel parçacıklara sahip olduklarına da aklı yatıyordu. Biraz da geometrik düşünceye olan yatkınlığı nedeniyle bu parçacıkların düzgün, matematiksel bir şekle sahip oldukları önermesinde bulundu: Düzgün Platonik cisim denilen çokyüzlü [*polyhedron*]. Dünya bir küp şeklindeyken, hava bir sekizyüzlü, ateş bir dörtyüzlü ve su da bir yirmiyüzlü idi. Her bir şeklin düz olan yüzeyleri iki tip üçgenden oluşmuştu. Platon'a göre de doğanın "temel parçacıkları" işte bu üçgenlerdi ve tüm uzayı kaplıyorlardı. Elementler de bu üçgenlerin yeniden düzenlenerek yeni geometrik şekiller meydana getirmesiyle dönüşüyorlardı.

Beşinci bir düzgün Platonik cisim daha mevcuttu: Beşgen yüzeyleri olan onikiyüzlü. Bu çokyüzlü, diğer dördünde olduğu gibi, üçgenlerden oluşmuyordu. İşte, bu ne-

denle de Platon'a göre göklere aitti. Dolayısıyla, aslında Aristoteles'in de esîr adını verdiği beşinci bir element daha vardı. Öte yandan, bu beşinci element dünyevi varlıklar için ulaşılmazdı; dolayısıyla gündelik maddelerin oluşunda herhangi bir rol oynamıyordu.

Şiirsel elementler

Antik dönemin bu dört elementi tüm Batı kültür tarihine nüfuz etmiştir. Shakespeare'in Lear'i, fırtınalı yağmurun, çılgın bir havanın, "ağaçları ortadan ikiye ayıran şimşekler"in, doğanın "hırçın unsurları"nın içine doğru cinnet geçirmişçesine koşar. Shakespeare'in sonelerinden iki tanesi de bu dörtlemeyi anımsatır: "kara ve deniz (...) varlığım toprak ve sudan ibaret yalnızca" ve "hafif hava ve arındıran ateş". Dört antik element edebi gelenekte karşımıza çıkmaya daha sonra da devam etti ve T. S. Eliot'un *Kuartetler*'inin genel ilkelerini oluşturdular.

Yunan filozoflar dört-element kuramını dört "ana" renk düşüncesiyle ilişkilendirdiler: Empedokles'e göre, bunlar beyaz, siyah, kırmızı ve belirsiz olan *ochron*'du. Onun bu görüşü de klasik Yunan ressamların beyaz, siyah, kırmızı ve sarıdan oluşan dört renkli palet tercihleriyle uyumluydu. MS 2. yüzyılda, Atinalı astrolog Antiokhos bu renkleri sırasıyla su, toprak, hava ve ateşle özdeşleştirdi.

Dört elementi renklere bağlama iradesi Yunan öncüller bir kenara bırakıldıktan çok sonra bile devam etti. Rönesans sanatçılarından Leon Battista Alberti kırmızıyı ateşle, maviyi havayla, yeşili suyla ve "kül rengini" (*cinere-*

um) toprakla eşleştirdi; Leonardo da Vinci ise toprağı sarı olarak düşündü. Bu bağdaştırmalar da hiç kuşkusuz yeni nesil ressamlara renkleri nasıl karıştırmaları ve kullanmaları gerektiği konusunda pek çok fikir vermiş olmalı.

Temel ilkelerin dörtlü olma hali, pusulada bulunan dört yön (Çin geleneğinde beş element ve beş "yön" vardır) ile geleneksel tıptaki dört "salgı"ya dek uzanır. Yunan hekim Galenos'a göre (MS 130-201), sağlığımız bu dört esasın dengesi üzerine kuruludur: kırmızı kan, beyaz balgam ile siyah ve sarı safra.

Antikite ve Ortaçağ'da doğanın karakteristikleri ve yaratılan arasındaki "örtüşmeler"e duyulan yoğun ilgi bir yana, açıkça görülüyor ki, Aristoteles'in dört elementinin kökleri insanlık deneyiminin köklerine kadar iniyor. Kanadalı yazar Northrop Frye şöyle yazmıştı: "Dört element kavramının modern kimyada pek işlerliği yok – yani, bunlar doğal elementler değil. Ne var ki (...) toprak, hava, su ve ateş düşsel deneyimlerin elementleri olmaya hâlâ devam ediyor ve her daim de edecek."

Fransız filozof Gaston Bachelard'ın da bu elementlerin (başta su ve ateş) mit ve şiirdeki "psikanalitik" etkilerini ortaya çıkarmanın uygun olacağını düşünmesinin nedeni buydu.

> İmgelemin âleminde, hayal dünyasının çok çeşitli unsurlarının ateş, hava, su ve toprakla olan bağlantıları uyarınca sınıflandırılabileceğine, bir *dört element kanunu*'nun mümkün olduğuna inanıyorum... Maddi bir elementin kendine özgü bir tözü, belli kuralları ve poetikası olması gerekir. Primitif felsefede bu hatlar üzerinden belirleyici

bir seçim yapılmış olması salt rastlantıdan ibaret değildir. Bu filozoflar kendi asli ilkelerini dört temel elementten biriyle bağdaştırmış ve böylelikle bu elementler *felsefi temayülün* göstergeleri olmuşlardır.

Bachelard bu temayülün her birey için geçerli olduğunu ve kişinin maddi ortamına göre belirlendiğini söyler:

> Memleket dediğimiz yer uzam olmaktan ziyade madde gibidir; granit veya toprak, rüzgâr veya kuruluk, su veya ışık olabilir. Düşlerimiz burada cismanileşir; düşlediğimiz şey kendi hakiki tözüne onun vasıtasıyla ulaşır. Bize öz rengimizi vermesi için ondan medet umarız. Nehrin kıyısında hayal kurarken, imgelemimi suya, o berrak ve yeşil suya, çayırları yeşile bürüyen suya adadım.

Dört-element şemasına gereğinden fazla değer ve öncelik atfetme eğilimi olmasına rağmen –ki gördüğümüz üzere hiç az değil bunu yapan–, bu düşünceyi anlayabilmemiz için Empedokles'in elementlerinin nasıl bu denli uzun ömürlü olabildiklerini açıklamak yetmeyecektir. Bu elementler kendi deneyimlerimize *uyar*, onlarla örtüşürler. Onlar maddenin farklı *çeşitlerini* birbirlerinden ayırırlar.

Bu tam olarak şu demek: Klasik elementler, maddenin dönüşebileceği farklı *fiziksel hallerinin* aşina olduğumuz temsilcileridirler. Toprak, salt kaya veya toprağın kendisini değil, tüm katı maddeleri temsil eder. Su, tüm sıvıların arketipidir; hava, tüm gaz ve buhar hallerini temsil eder. Ateş ise eşsiz ve çarpıcı bir hadise olmasıyla ilginç bir elementtir. Aslında, ateş, ısı nedeniyle alevlenerek kor gibi

parlayan moleküller ve molekül parçalarıyla dans eden bir plazmadır. Ateş, tam anlamıyla bir madde olmamakla birlikte, kimyasal tepkime sonucunda çeşitli maddelerin özel ve alışılmadık bir biçimde bir araya gelmiş halidir. Deneysel bir çerçevede bakıldığında, ateş, gerçekliğin elle tutulamayan diğer yönünün mükemmel bir sembolüdür: Işığın.

Eskiler de bunu böyle düşünmüştü: Elementler, belli maddelerle pek de özdeşleştirilmemesi gereken *cinslerdi*. Platon su elementinden bahsederken kastettiği şey nehirde akan su değildi. Nehir suyu, element olan suyun bir tezahürüydü; eriyik kurşun da aynı şekilde. Element olan su, "akan şey"dir. Benzer biçimde, element olan toprak, yerkabuğundaki maddeler dışında et, tahta ve metali de kapsıyordu.

Platon'un elementleri "atomları"ndaki geometrik ortaklıklar nedeniyle birbirlerine dönüşebiliyorlardı. Anaksagoras'a göre tüm cismani özdekler dört elementin karışımından meydana geliyordu; dolayısıyla bir özdek diğerine bir ya da daha fazla elementin oranlarının artması ve buna karşılık diğerlerinin azalması vasıtasıyla dönüşüyordu. Antik dönemin element kuramlarının merkezinde de maddenin, elementlerin iç içe geçmesiyle oluştuğu görüşü vardır. Bu da elementlerin izole edilebilen ve arılaştırılabilen asli bir özdek olarak kabul edildiği modern element anlayışıyla olan zıtlıklardan yalnızca biriydi.

Metal çağı

Empedokles'in elementleri Aristoteles'in de olumlamasıyla 17. yüzyıla dek hükmünü sürdürdü. Bu takdisin

de yardımıyla atomizm solup gitti. Yunan filozof Epikuros (MÖ 341-270) MÖ 56 yılında, Romalı şair Lucretius'un *De rerum natura* (*Evrenin Yapısı*) başlıklı eserinde de övgüyle söz ettiği atomcu bir geleneğin temellerini attı. Ortaçağ'da bu atomcu şiiri bağnaz dindarlar yasakladı ve şiir tamamen yok olmaktan zar zor kurtarıldı. Daha sonra, 17. yüzyılda tekrar ortaya çıktı ve Fransız bilim insanı Pierre Gassendi (1592-1655) üzerinde büyük bir tesiri oldu. Ve Gassendi'nin hareket halindeki atomların mekanik dünyası öngörüsü, Aristoteles gelenekselciliğine karşı ortaya çıkan pek çok meydan okumadan biri oldu.

Böylesi kökten değişimlere herkes hazır değildi. Gassendi'nin bir diğer "makinist" dostu ve pek çok açıdan ilerlemeci bir düşünür olan Marin Mersenne (1588-1648), Étienne de Clave'ın tutuklandığı 1624 Mahkûmiyetini her şeye karşın olumlu karşılamış, bu vesileyle, yeni gelenlere "simya" düşüncesini anlatma fırsatı doğduğunu iddia etmişti. Simya bile elementler hakkında bize daha çok şey söyleyebiliyordu.

Bugünden geriye baktığımızda, günümüzde element olarak kabul edilen özdeklerin –altın, gümüş, demir, bakır, kurşun, kalay ve cıva metalleri– antik dönemde bu şekilde sınıflandırılmamış olması, ki o dönemde bile en saf hallerine ulaşmak mümkündü, hayli ilginç gelebilir. Metalurji en eski teknik sanatlardan biri olmasına karşın, Rönesans sonrasına dek element kuramlarını pek az etkiledi. Sıvı cıva istisnası dışında metaller Aristoteles'in "toprak" elementinin formları olarak görülüyordu.

Metalurjinin kuramsal altyapısını sağlayan simya ise bunu yavaş yavaş değiştirdi. Simya, maddenin doğası ve

dönüşümleriyle ilgili düşüncelere –eski ve yeni element kavramları arasında bir köprü kurmak suretiyle– derin bir incelik kattı.

Madde kuramı olarak tek bir *prote hyle* anlayışı daha baştan bir açmaz gibi görünse de, Aristoteles'in elementlerinin de bundan aşağı kalır bir yanı yoktu. Kurşun ve altın arasında ne fark olduğu toplum nezdinde oldukça önemliydi; ancak dört-element kuramı buna dair fazla bir şey söyleyemiyordu. Metalleri açıklayabilmek için çok daha rafine bir şema gerekiyordu.

Bilinen en eski metaller, doğada saf ve element formunda bulunabilmelerinden ötürü altın ve bakır olmuştur. Ermenistan ve Anadolu'da MÖ 5000 yılından önce altın çıkarıldığı ve kullanıldığına dair kanıtlar var; bakır kullanımı da Asya'da oldukça eskiye dayanır. Öte yandan, bakır genellikle metal olarak değil, mineral cevher olarak bulunur: Bakır karbonat (malakit ve azurit mineralleri) gibi bakır ve diğer elementlerin kimyasal bir bileşimi. Bu bakır cevherleri MÖ 4300 civarında, Ortadoğu'da çini denilen taş bezemeler sırlandığı esnada, hoş bir kaza eseri, pigment ve renklendirici bir malzeme olarak kullanılmaya başlamış. Bakır ve kalay alaşımı bronz bireşiminin ortaya çıkışı da yaklaşık aynı tarihlere rastlar.

Kurşun da MÖ 3500'lerden beri yine bir cevherin (galena) eritilmesiyle elde edilirken, yaygınlaşması bir bin yıl daha sürdü. Kalayın MÖ 1800-1600 yılları arasında İran, demirin de MÖ 1400'lerde Anadolu kökenli olduğu düşünülüyor. Metallerin bu kadar uzun zaman aralıklarıyla keşfedilmiş olmaları, saf metali cevherden ayırma işinin ne denli zor olduğunu da gösteriyor: Yaygın bulunan mineral

cevheri hematitteki (okra) demir, oksijene sıkı sıkıya tutunmuş haldedir ve onları ayrılmaya zorlamak için yüksek ısı ve odun kömürü gerekir.

Bu kadar çok metal olunca, bunları sınıflandırmak için bir şemaya ihtiyaç duyulmuştu. Geleneksel bakış açısı bu şemanın öncelikle bir tekabül sistemine dayanmasını gerektiriyordu. Bu doğrultuda bilinen yedi metal türü, bilinen yedi gök cismi ve haftanın yedi günüyle bağdaştırıldı (Tablo 1). Tüm metaller müşterek özellikler barındırdıklarından (parlaklık, yoğunluk, işlenebilirlik), bunların aynı soydan geldikleri, yalnızca farklı mevkileri oldukları düşünüldü. Bu bağlamda, metallerin toprak altında bir "olgunlaşma" sürecinden geçtikleri hükmüne varıldı: Örneğin, donuk ve kirli kurşun olarak başlıyor ve en nihayetinde o görkemli altına dönüşüyordu.

Simyanın da merkezinde bu inanç vardı. Şayet metaller bir diğerine gerçekten de toprağın derinliklerinde dönüşebiliyorlarsa, o halde simyacı da bu süreci yapay olarak hızlandırmanın bir yolunu pekâlâ bulabilir ve baz metalleri altına dönüştürebilirdi. Peki ama bunu nasıl yapacaktı?

Tablo 1.

Metal	Gök cismi	Gün
Altın	Güneş	Pazar (*Sunday*)
Gümüş	Ay	Pazartesi (*Monday*)
Cıva (*Quicksilver*)	Merkür	Çarşamba (Fr. *Mercredi*)
Bakır	Venüs	Cuma (Fr. *Vendredi*)
Demir	Mars	Salı (Fr. *Mardi*)
Kalay	Jüpiter	Perşembe (Fr. *Jeudi*)
Kurşun	Satürn	Cumartesi (*Saturday*)

Metalleri altına dönüştürme girişimlerinin geçmişi neredeyse Bronz Çağı'na dek uzanır. Gelgelelim, MS 8. yüzyıldan sonra iş artık rastlantıya bırakılmadı; Arap simyacı Câbir bin Hayyan'ın sülfür-cıva kuramı temel alındı. Câbir, bir kişi olmaktan öte bir düşünce ekolüdür. Hakkında yazılanlar kendi yazdıklarından çok daha fazladır; öyle ki, gerçekten yaşayıp yaşamadığına dair kuşkular bile vardır. Câbir geleneğinde Aristoteles elementleri ile tuhaf ve gizemli unsurların birlikteliği görülür. Câbir, elementleri kabul etmekle birlikte, metaller söz konusu olduğunda bu temel özdeklerle gerçeklik arasına bir başka katman daha eklemiştir.

Câbir'e göre, metallerin "asli nitelikleri" Aristotelesçi sıcak, soğuk, kuru ve ıslaktı. Öte yandan, "dolaysız nitelikleri" iki "ilke"den oluşuyordu: Sülfür ve cıva. Tüm metallerin sülfür ve cıva karışımlarından meydana geldiği kabul ediliyordu. Baz metallerdeki halleri saf değilken, gümüş ve altında saflık oranları çok daha yüksekti. Bu sülfür ve cıva karışımlarının en saf olanı altın değil, simyanın Kutsal Kâsesi olan ve baz metalleri altına dönüştürebilen Felsefe Taşı'ydı.

Bazı âlimler Câbir'in sülfür ve cıvasını Aristotelesçi karşıtları olan ateş ve suyla özdeşleştirmişlerdir. Kesin olan şu ki, Câbir'in sülfür ve cıvası, kimya laboratuvarında bulunan sarı renkteki sülfür ile pırıl pırıl parlayan sıvı cıva değildi, ki bunların üç aşağı beş yukarı saf hallerini simyacılar dahi biliyorlardı. Bu iki ilke daha ziyade dört klasik element gibiydiler: Dünyevi maddelerde kusurlu olarak cismanileşmiş "ideal" özdekler.

Yani Câbir sistemi dört elementin önce arkasında durmuş ama sonra onları yok saymıştı; tıpkı Aristotelesçi

elementler geleneğinde kabul edilen fakat göz ardı edilen evrensel *prote hyle* gibi. Câbir sistemi, şeylerin neden meydana geldiğine dair artık daha pratik kaygılar güdülmeye ve Aristoteles'e bağlılığın artık sözde kalmaya başladığının da bir işaretidir.

Antik geleneklerden bir adım daha uzaklaşma belirtisi de Câbir'in sülfür ve cıva ilkesine bir üçüncü "ilke" daha eklenmesi oldu: Tuz. İlk ikisi metal bileşimiyken, tuz, canlıların asli bir unsuru olarak görülüyordu. Bu sayede simya kuramı salt bir metalurji kuramı olmanın ötesine geçmiş ve maddi dünyayı da içine almıştı. Üç-ilke kuramı genellikle İsviçreli simyacı Paracelsus'a (1493-1541) atfedilir ki muhtemelen çok daha eskiye dayanmaktadır. Paracelsus "dört elementte bulunan her şey"in sülfür, tuz ve cıvadan oluştuğunu ileri sürmüştü.

Dolayısıyla, Paracelsus ilkeleri başlı başına birer element değillerdi; daha ziyade antik elementlerin maddi bir tezahürüydüler. 17. yüzyılın sonlarına gelindiğinde durum yeniden değişti. Artık hiç kimse görüşlerini Aristoteles ile uyuşturma zorunluluğu hissetmiyordu ve "ilkeler" de yalnızca kendi içlerinde birer element olarak görülüyorlardı. Jean Béguin beş elementin sıralandığı ve pek bir rağbet gören bir şema hazırladı: Cıva, sülfür, tuz, balgam ve toprak. Bunların hiçbirinin saf olmadığını ileri sürdü – her biri diğerinden bir parça içeriyordu.

İz bırakan ve ilginç bir karakter olan Alman simyacı Johann Becher (1635-1682), su, hava ve toprağın element olduklarını kabul etmekle birlikte, aralarında bir seviye farkı olduğunu öne sürdü. Ona göre hava inert özellikteydi ve dönüşüm sürecinde bir rol oynamıyordu. Becher

Dünya'daki pek çok yoğun özdek arasındaki ayrımın üç farklı toprak tipinden kaynaklandığını düşünüyordu. *Terra fluida* metallere parlaklık ve ağırlık kazandıran akışkan bir elementti. *Terra pinguis* organik maddede (hayvan ve bitkiler) bolca bulunan ve bir şeyleri yanabilir hale getiren bir "yağlı toprak"tı. *Terra lapidea* şeyleri katı yapan "camsı toprak"tı. Aslında, bu üç toprak çeşidi cıva, sülfür ve tuzdan başka bir şey de değildi ama ileride modern kimyanın nasıl bunlardan doğduğunu da göreceğiz.

Kuşkucu kimyager

Bir anda çok sayıda ve detaylı element şemalarının ortaya çıkışına ivme veren, ağırlıklı olarak yapılan deneylerdi. Artık maddenin Yunanların soyut ve mesafeli elementlerine pay edilmesinden tatmin olmayan 17. yüzyılın ilk kimyagerleri, maddeyi kavramak için uygulamalı yöntemler kullanmaya başladılar.

Simyanın da her daim sağlam bir deneysel yönü vardı. Sonu gelmeyen Felsefe Taşı arayışları esnasında simyacılar her çeşit özdeği yaktılar, damıttılar, erittiler ve yoğunlaştırdılar ve tüm bunları yaparken tesadüf eseri fosfor ve nitrik asit gibi teknolojik bakımdan yeni ve önemli bileşimler elde ettiler. Gelgelelim, 1600'lerde sahneye, doğa filozoflarından oluşan bir geçiş grubu çıktı; bu grubun simya orkestrasının başyapıtına şeflik etmek gibi bir gayesi yoktu. Onlar maddeyi daha dünyevi bir çerçevede araştırmak ve kavramak istiyorlardı. Bu "kimyacılar" ne simyacı ne de kimya bilimciydiler; ya da her ikisinden özellikler barındı-

rıyorlardı demek daha doğru olur. Onlardan biri de Robert Boyle'du (1627-91).

İrlandalı bir aristokratın Eton mezunu oğlu olan Boyle, 17. yüzyılın ortalarında İngiliz bilim çevresinin çekirdek kadrosunun bir üyesi haline geldi. Çok yakın olmamakla birlikte, Isaac Newton ile iyi bir ilişkisi vardı (zaten Newton'un samimi ilişkiler kurduğu pek kimse bulamazdınız) ve 1661'de Royal Society'nin kuruluşunda da yer almıştı. O da, tıpkı diğer pek çok çağdaşı gibi, simyaya karşı hararetli bir ilgi besliyordu fakat aynı zamanda bağımsız ve keskin zekâya sahip bir düşünürdü, ki işin asıl can alıcı kısmı da buydu.

Boyle'un, genellikle simyaya karşı sözel bir saldırı olarak tanımlanan 1661 tarihli klasik kitabı *The Sceptical Chymist* (Kuşkucu Kimyager) aslında bilgili ve saygıdeğer simya "üstadları"nı (örneğin kendisi gibileri) körü körüne uyguladıkları tariflerle altın peşinde koşan "bayağı laborantlar"dan ayırma amacı taşır. Bu kitabın kimya dalı için uzun süre değerli kalmasını sağlayan, Boyle'un başlıca element ekollerinin tümüne saldırmasıdır. Boyle, bu ekollerin en nihayetinde deney sonuçlarıyla örtüşmediğini söylemişti.

Geleneksel dört-element kuramında Aristoteles'in dört elementinin tüm özdeklerde bulunduğu iddiası vardır. Oysa, Boyle, yaptığı gözlemlere dayanarak, kimi maddelerin bu klasik ve ilksel bileşenlere "Vulkan" (fırının ısısı) yoluyla bile indirgenemeyeceğini ortaya koydu:

> Birtakım cisimlerden dört elementten birini çıkaramazsınız, örneğin Altın; kaldı ki bugüne dek *hiçbirine* bu

şekilde ulaşmak mümkün olmadı. Aynı durum Gümüş, sönmüş kireç [fırınlanmış kireç] ve diğer farklı sabit cisimler için de geçerlidir ki bunları Vulkanla bile dört ayrı heterojen özdeğe indirgeyebilmek asla mümkün olmamıştır.

Diğer bir deyişle, elementlere kuramlaştırma yoluyla değil, ancak deneylerle ulaşılabilirdi: "Şunu da ifade etmeliyim ki, dört elementi savunanlar, akla değer veren insanlar olsalar da (...) şimdiye dek hiç kimse çıkıp da bunları keşfetmek için akılcı bir deney gerçekleştirememiştir."

Boyle'un element tanımı ile günümüzdeki arasında öyle çok ciddi bir fark da yok:

Bazı iptidai ve basit, ya da diğer cisimlerden veya birbirlerinden meydana gelmemiş mükemmel saflıktaki cisimler, mükemmel karışım dediğimiz cisimlerin bileşenleridir ve doğrudan bileşik haline gelirler ve en nihayetinde de ayrışırlar.

Ancak Boyle daha sonra böyle bir şeyin gerçekten var olup olamayacağı sorusunu attı ortaya – yani, aslında elementlerin var olup olmadıklarını. Öte yandan, Boyle, resmen yerle yeksan ettiği element şeması yerine bir başka sistem koymaktan da imtina etti. Ve bir yandan da Flaman bilim insanı Johann Baptista van Helmont'un her şeyin sudan meydana geldiği fikrine sıcak bakmaya devam etti.

17. yüzyılın sonuna gelindiğinde bilim insanları elementleri sıralayabilme konusunda Yunan filozoflardan he-

nüz pek öteye geçememişlerdi. Gelgelelim, bundan yüz yıl sonra, İngiliz kimyager John Dalton (1766-1844) bir ders kitabı hazırladı ve burada modern sayılabilecek bir atom kuramının ana hatlarını çizdi. Elbette eksiklikler ve yanlışlar vardı ancak içerik ve ruh bakımından bugün yüzden fazla element barındıran tablonun açıkça öncüsü sayılabilecek bir element listesi sunmuştu. Peki, elementlere bakışımız nasıl olmuştu da bu denli hızlı bir şekilde değişmişti?

Bu değişimin en önemli ayağı, Boyle'un element özelliklerinin belirlenmesinde deneysel analizi şart koşması oldu. Devrimin önünü açan bir diğer unsur da elementlerin nasıl olmaları gerektiğini söyleyen eski önyargıların terk edilmesiydi. Klasik âlimlere göre, bir element, çevrenizde bulabileceğiniz bir nesnede, en azından fark edilir ölçülerde mevcut olmalıydı. Oysa, bugün element olarak tanımlanan pek çok özdeği hemen hemen hiçbirimiz asla ne görebilir ne de onlara dokunabiliriz. Oysa, antik dönemde böyle bir engel olması bile çok saçma bulunurdu. (Tabii ki kimse havayı tutamazdı ama herkes gökyüzünün yeryüzünün üstüne yerleştiğini görebilirdi.) Öte yandan, bilim insanlarının maddelerin element yapılarını değiştirmeden fiziksel durumlarını değiştirebildiklerini –katıdan sıvıya, sıvıdan gaza– anlamaları da bazı şeyleri yerine oturtmuştu. Buz "toprak"a dönüşmüş su değildi, sadece donmuş suydu.

Özetle, elementler söz konusu olduğunda hiçbir şey *aşikâr* değildi. Bilim insanları 20. yüzyıla dek neden daha fazla element olması gerektiğini ya da neden binlerce de olamayacağını hiçbir şekilde açıklayamamıştı. Dünyayı gelişigüzel incelemekle elementleri anlamak mümkün değildir; bunu yalnızca modern bilimin tüm gelişmiş araçlarını

kullanmak suretiyle ve kesin sonuçlar sunan bir araştırmayla başarabilirsiniz.

Belki de bazı insanların toprak, hava, ateş ve sudan vazgeçmemeyi yeğlemelerinin nedeni budur. Birer kimya elementi olmasalar bile, bunların insanın dünya ile kurduğu ilişki olduğu ve maddelerden nasıl etkilendiğimizle ilgili çarpıcı bir tını verdiği söylenebilir.

II. Bölüm

DEVRİM: OKSİJEN DÜNYAYI NASIL DEĞİŞTİRDİ

Fizik alanında Isaac Newton, biyolojide Charles Darwin neyse, kimyada da Antoine Laurent Lavoisier odur denir. Lavoisier, bir dizi apayrı olguyu bir araya getirip, bütünleyici ilkelere dayanan bir bilime dönüştürmüştür.

Burada zamanlama da önemli. Newton'ın 17. yüzyılda yaptığı çalışmalar Aydınlanmanın başladığına işaret ediyor ve hem evreni kavramak, hem de insanlık durumunu geliştirme aracı olarak rasyonalizme olan inancın sinyallerini veriyordu. 19. yüzyılda Darwin'in kuramları sağlam bir kesinlik kazanmaya başlarken, modernizmin uçarı yaklaşımları bilim ve kültürde de kendini göstermeye başlamıştı; sanat, müzik ve edebiyata dair tüm eski kurallar yavaş yavaş değişiyordu.

Ya Lavoisier? Onun kaderini Aydınlanmanın cesur yeni dünyası tayin etmişti bile: Robespierre'in Korku İmparatorluğu sırasında katledildi. Voltaire, Montesquieu ve Condorcet gibi filozofların liberal iyimserlikleri, Fransız

devrimcilerinin hiddeti ve keyfi gaddarlıkları karşısında yıkılıp gitmişti. Akıl terk edilmişti ve kimya da sonraki onlarca yıl boyunca romantik bir bilim olarak kabul edildi.

Lavoisier (1743-94) en az Condorcet kadar bahtsızdı ve o da Fransa'nın önde gelen tüm düşünürleri gibi er ya da geç siyasete bulaşacaktı. İngiltere'de bilim hâlâ parası ve boş vakti olan "centilmenler"in uğraşı olarak görülürken, Fransa'da genellikle kamu dairelerini dolduran ve devlet onaylı Bilimler Akademisi üyeleri siyasi yaşamın önde gelen figürleri haline geldiler.

Lavoisier ünlü bir bilim insanı olmadan önce bir vergi memuruydu ki sonunu getiren de asıl bu iş olmuştu. Ancak, kimya alanındaki uzmanlığı sayesinde 16. Louis'nin Barut İdaresi'nde yönetici olarak önemli bir göreve getirilmişti. Ayrıca, Bilimler Akademisi'nin hazine müdürü ve nüfuzlu bir sekreteri de olan Lavoisier, 1793 yılında elitist karşıtı olan Jacobin yönetimi tarafından tasfiye edilme girişimine de şiddetle karşı çıkmıştı. Cumhuriyete sadık olmadıklarına dair en ufak bir şüphe duyulan kişilerden ulusu arındırmaya kararlı olan devrimci cadı avcıları için Lavoisier mükemmel bir hedefti. İşte, Lavoisier'nin başını 1794'te az önce kayınpederinin başını vücudundan ayıran giyotinin altına eğmesine neden olan da buydu.

O günden bugüne iki yüzyıl geçti, ancak Lavoisier'nin gerçekten de kimyanın en önemli elementlerinden birini keşfeden kişi olup olmadığı hâlâ ateşli bir tartışma konusu. Bu element oksijendi. Dünyanın önde gelen iki kimyacısı, Nobel ödüllü Roald Hoffmann ve doğum kontrol hapının mucitlerinden Carl Djerassi'nin kaleme aldığı bir tiyatro oyunun da ana teması bu oldu. *Oxygen* adlı



Resim 2. Antoine Laurent Lavoisier (1743-94), "Kimyanın Newton'ı" ile eşi ve bir dönem asistanlığını yapan Marie Anne Lavoisier.

oyunda, 2001 Nobel Komitesi ilk kez ödüllerin verilmeye başladığı 1901 yılından önce gerçekleştirilmiş büyük buluşlar için "retro-Nobel" ödülleri vermeyi kararlaştırmıştır. Karakterlerden birinin de "Kimya Devrimini başlatan oksijendir" sözlerinin ardından, kurul, ilk kimya ödülünün oksijeni keşfeden kişiye verilmesi gerektiğinde karar kılar. Elementi adlandıran kişi her ne kadar Lavoisier olmuşsa da, o ne bu elementi ilk yapan, ne de onun ne denli ayırt edici bir öneme sahip olduğunu ilk anlayan kişiydi. Bunun üzerine, Nobel Komitesi, başı çeken diğer üç aday üzerine hiddetli bir tartışmaya girer. Bu esnada, adaylar arasında 1777 yılında yaşanan kurgusal bir karşılaşmada, aralarında yaşanan bir öne çıkma mücadelesine dair yeni bilgiler çıkar ortaya.

Gelgelelim, bu, hikâyenin yalnızca bir kısmı. Oksijen, salt modern kimyanın en temel düzenleyici ilkesi değil, aynı zamanda yeni ve eski arasında, Robert Boyle'un kökleri simyada olan "kimyası" ile bugünün kimyasal bitkilerinin sonsuz harikalarından elde edilen sentezler arasında bir köprüdür de. İşte, bu köprünün kurulması, herhangi bir element kavramının geliştirilmesi açısından hayati bir evreye işaret eder.

Değişimin ayak sesleri

Lavoisier, Aristoteles'in elementlerine karşı iki sarsıcı darbe indirdi. Su üzerine yaptığı deneyler sonucunda, 1783 yılında şu kanıya vardı: "Su kesinlikle sade bir özdek değil, hatta şimdiye dek sanıldığı gibi bir element de değil." Ve

antik dönemin bir diğer akışkan elementine dair de şöyle demiştir: "Atmosferdeki hava farklı ve karşıt niteliklere sahip iki elastik akışkandan meydana gelir." Bu iki elastik akışkanı da "mefitik hava" (kirli hava) ve "yüksek düzeyde solunabilir hava" olarak adlandırır. Diğer bir deyişle, ne su ne de hava birer elementti.

Lavoisier suyun bileşenlerini hidrojen ("su-oluşturan") ve oksijen olarak adlandırdı. Bu bileşenler de bildik kimyasal formül H_2O'da olduğu gibi ikiye bir oranındaydılar. Hava çok daha karmaşık bir özdekti. Lavoisier, "yüksek düzeyde solunabilir hava" ayrımındaki havanın da başlı başına bir element olduğunu anladı: Oksijendi bu. Oksijen sözcüğünün kökü Yunanca "asit-oluşturan"dan gelir, ki bunun da nedeni Lavoisier'nin oksijenin tüm asitlerin bir bileşeni olduğuna dair hatalı bir sonuç çıkarmasıdır. Lavoisier mefitik hava dediği "akışkan" için de, canlı yaşamı için uygunsuz oluşu ifade eden Yunanca bir terim olan *azot* ya da *azot gazı* tabirini önerdi. Lavoisier bu bileşeni izole ettiği zaman, "onu solumaya zorlanan hayvanları öldüren bir nitelik" taşıdığını görür. O nedenle, bunu zararlı ve tehlikeli olarak tanımlamakta pek de haksız sayılmaz. Oysa, işin aslı, azot tehlikeli olmaktan ziyade yalnızca işe yaramazdır: Oksijenden ayrıldığı zaman artık canlı yaşamının sürdürülmesine bir katkısı kalmaz. Lavoisier bu gaz için "kanıta göre nitrik asitin de bir parçası, dolayısıyla onu *nitrigen* olarak adlandırmak da gayet yerinde olacaktır" notunu da düşmüştür. Ne var ki, en nihayetinde *azot* demeyi tercih ettiği için diğer Fransız kimyacılar da böyle yapar – Fransa'da nitrojenin bugün bile *azote* olarak bilinmesinin nedeni de budur.

Öte yandan, Lavoisier'nin niyeti gelenekleri tümden yıkmak da değildi ve bunu da şu sözlerinden anlayabiliriz: "Antik dönem teamüllerince kutsanmış terimler üzerinde değişiklik yapıyormuşuz gibi davranmadık; o nedenle, atmosferimizi oluşturan elastik akışkanlar grubunu ifade eden *hava* sözcüğünü saklı tuttuk."

Bu "akışkanlar grubu" değerlendirmesi aslında eksikti ki böyle olması da doğal. Oksijen ve nitrojen havanın %99'unu oluştursa da, geriye kalan kısım muazzam bir karışımdır. Kalan kısmın çoğunu son derece tepkisiz olan argon (bkz. s. 210) elementi oluşturur. Bir de az ve değişken miktarlarda su buharı (hava soğuduğu zaman yoğunlaşarak bulut ve yağmur damlalarını oluşturmaya yetecek kadar) ve yaklaşık %0,08 oranında karbondioksit bulunur. Diğer iz gazlar arasında metan, azot oksit, karbonmonoksit, sülfür dioksit ve ozon yer alır. Geçtiğimiz son birkaç onyıla dek havayı oluşturan pek çok yan öğe henüz saptanamamıştı. Bu öğeler her ne kadar epey düşük miktarlarda olsa da, çevre ve atmosferin kimyasında can alıcı bir role sahiptirler. Bunların bazılarını gezegeni ısıtan sera gazları oluştururken, kimileri de çevreyi kirleten toksik maddelerdir. Bazıları doğalken, kimileri insan eliyle oluşmuştur ve diğer pek çoğunda her iki etken de iş başındadır. Artık kimyacılar atmosferin özelliklerini ve davranışını anlamak için düzinelerce, hatta yüzlerce iz gazı ve bunların ürünlerini de içeren tepkimeleri kaydetmek mecburiyetindeler.

Oksijen ve nitrojen birer elementtir, ancak diğer gazların birçoğu iki veya daha fazla farklı elementin tepkimesi ve birleşmesi sonucu meydana gelen *bileşiklerdir*. Oksijen gazında, her bir oksijen atomu bir diğer oksijen atomuna

tutunur. Karbonmonoksitte ise bir oksijen atomu, bir diğer karbon atomuna bağlanır.

Biraz kafa karıştırıcı olmakla birlikte, kimyacılar "element" terimini kullandıklarında ya belirli bir atom türüne –pasta bulunan oksijen ya da su bu bağlamda hâlâ bir elementtir– veya oksijen gazı ya da bir parça kızıl bakır metali gibi tek bir atom türüne sahip fiziksel bir özdeği kastediyor da olabilirler. Metallerin çoğu dahil olmak üzere bazı elementler doğada genellikle bileşik halinde bulunurlar ve atomları farklı elementlerin atomlarına bağlıdır. Altın ve sülfür gibi kimi elementler de doğada saf ya da "element" formunda bulunurlar. Bu, bir kedinin aynı anda ayırt edici özellikleriyle –sivri kulaklar, bir kuyruk, mırlama ve fare kovalamaya yatkınlık– hem soyut olabilmesi, hem de sobamızın yanına kıvrılmış yatan sıcak bir sarman olarak gayet somut olabilmesinden çok da farklı değildir.

Yani hava (ağırlıklı olarak) oksijen ve nitrojenden oluşur; su oksijen ve hidrojendir. Ne var ki, havayı oluşturan elementler sudakiyle aynı türden bir karışım yaratmazlar. Suda kimyasal bağlar her bir oksijen atomunu iki hidrojen atomuna zincirler ve bunları da ancak kimyasal bir tepkime ayırabilir. Havada ise iki element yalnızca fiziksel olarak karışmıştır; tıpkı kum taneleriyle tuz tanelerinin karışması gibi. Bunlar kimyasal bir tepkimeye ihtiyaç duymadan ayrıştırılabilirler. Lavoisier ise yaptığı deneyde bir kimyasal tepkime oluşturmanın gerekli olduğunu görmüştü: Yanma yoluyla oksijeni başka özdeklerle birleşmeye itti ve sonuçta geriye kalan neredeyse saf nitrojendi. Oysa, bugün modern teknikler sayesinde bu elementleri fiziksel olarak ayrıştırmak mümkün.

Lavoisier'nin havayla ilgili vardığı sonuç yeni değildi. Tıpkı suyu oluşturan elementleri kullanarak su elde eden ilk kişi olmadığı gibi, havada iki farklı özdek olduğu sonucuna ulaşan ilk kişi olduğu iddiasında da bulunamazdı. Lavoisier'nin iddialarını asıl özel kılan, gözlemlerinden ziyade getirdiği yorumlar olmuştu.

18. yüzyılın ikinci yarısı "pnömatik kimya" çağıydı. Kimya bu dönemde genel olarak "havalar" olarak adlandırılan gazların özellikleri üzerine yoğunlaşan bir disiplindi. Buna önayak olan en önemli gelişme ise, yüzyılın başlarında İngiliz bir vaiz olan Stephen Hales'in, ısıya maruz bırakılan özdeklerden yayılan gazları toplayan bir aygıt olan pnömatik hazneyi icat etmesi olmuştu. Antik dönemde gaz halinde olan her şeye "hava" denirken, Hales'in düzeneği sayesinde kimyacılar bu tür her "emanasyon"un aynı olmadığını gördüler; dolayısıyla, onu tek bir katıksız elementle eşdeğer addetmek için geçerli bir neden yoktu.

Örneğin, İskoç kimyacı Joseph Black'in (1728-99) bir "sabit hava" araştırması vardı. Black 1750'lerde karbonat tuzunun ısıtılması ya da asitle muamele edilmesi sonucunda bir gaz açığa çıktığını bulguladı. Black, bu sonuçtan yola çıkarak, havanın serbest bırakılana kadar katı maddelerde "sabit" olduğu kanısına vardı. Sabit hava sıradan havadan farklı olarak kireç suyunu (bir kalsiyum hidroksit çözeltisi) bulanıklaştırıyordu. Artık bunun çözünmez kalsiyum karbonat oluşumu nedeniyle olduğunu biliyoruz – yani kireçtaşı. Black, insan nefesinin, yanma sırasında

açığa çıkan gazların ve fermantasyon ürünü olan gazların da kireç suyu üzerinde aynı etkiyi yarattıklarını gözlemledi. Isıya maruz bırakıldığında karbonatları bileşenlerine ayıran bu sabit hava ise karbondioksitti.

Black'in öğrencisi Daniel Rutherford (1749-1819) ise sabit gaz yerine "mefitik gaz" der: Eskiler *mephitis*'in topraktan fışkıran ve salgın hastalıklara neden olan zehirli bir salım olduğuna inanırlarmış. Kaldı ki, bu yeni gazı soluyan hayvanların öldüğü düşünüldüğünde oldukça yerinde bir adlandırma gibi gelmiş olmalı. Öte yandan, Rutherford'un "hava"sı Lavoisier'nin mefitik gazıyla, ki nitrojendir bu, aynı da değildi. Yine de, sıradan havanın tepkimesiz bir bileşeni olduğunu ortaya koyması nedeniyle, nitrojenin kâşifi Rutherford olarak kabul edildi. Rutherford 1772'de sıradan havanın yalnızca beşte biri kadarının yaşamı destekleyen "iyi" halde olduğunu söyledi. Şayet bu iyi havayı bir şekilde tüketirseniz, geriye kalan kısım mumları söndürür ve farelerin boğulmalarına neden olurdu. Diğer iki İngiliz pnömatik kimyacı Henry Cavendish (1731-1810) ve Joseph Priestley (1733-1804) de 1760'larda aynı gözlemleri yaptılar; aslında benzer sonuçlara Robert Boyle'un zamanında da rastlanmıştı, ancak Black nitrojenin ayrı bir element olduğu savını küçük de olsa bir adım öteye taşıyan ilk kişiydi ki bu sav daha sonra doğrulanacaktı.

Joseph Priestley'nin Hales ile birlikte yaptığı deneyler olağanüstü verimli olmuştu. Priestley, hidrojen klorür, nitrik oksit ve amonyak dahil yaklaşık yirmi farklı havayı izole etti. Ancak ilk başta ne o ne de herhangi bir çağdaşı bu özdekleri başlı başına farklı bileşikler olarak değerlendirdi. Aristoteles'in elementlerinin gücü hâlâ devam ediyordu

ve pnömatik kimyacılar her gazı bir biçimde başkalaştırılmış "sıradan hava" olarak düşünmeyi tercih ettiler – örneğin, daha fazla ya da daha az saf olma durumlarına bakarak. Öyle ki, Lavoisier bile bu alışkanlıktan vazgeçmekte epey zorlandı.

Öte yandan, bu önyargı klasik düşüncelere dönük bir bağlılıktan daha fazlasını yansıtıyordu. Pnömatik kimyacıların, gazlardaki kimyasal tepkimeleri açıklamak için yaptıkları gözlemlere göre şekillendirdikleri bir teorileri vardı. Fakat bunun sonucunda kimya disiplininin en kötü şöhretli sahte-elementi çıkmıştı ortaya: Flojiston.

Simya ancak pek çok aşamadan geçtikten sonra modern kimyaya evrilebildi ve flojiston da muhtemelen bu aşamaların en sonuncusu oldu. Bu varsayıma dayalı özdeğin izini, istersek, Câbir bin Hayyan'ın tüm metallerin bir bileşeni olduğu farz edilen sülfürüne kadar sürebiliriz. *Hakiki* sülfür, topraktan çıkarılan katı ve sarı, yanıcı bir maddeydi; barutun bir bileşeni ve cehennem ateşinde fokurdayan bir maddeydi. Bu bağlamda, Paracelsus'un üç "ilke"sindeki simya sülfürünün Johann Becher'in *terra pinguis*'ine nasıl dönüştüğü de anlaşılır bir durum: Yağdan oluşan toprak; yanıcılığın yağlı ilkesi. Becher'in halefi Georg Ernst Stahl (1660-1734) de buna yeni bir ad verdi: Yunanca "yanmak" sözcüğünden gelen flojiston.

Bazı kimyacılara göre flojiston ateşin kendisiydi: Antik elementin bir formu. Diğerleri, "elementler" ile simya "ilkeleri" arasındaki sınırın belirsizleştiğini kabul etmekle birlikte, Becher'in *terra pinguis* tanımını onayladılar: "Metaller ateşin etkisiyle havaya yükselen bir alev alabilirlik ilkesi barındırırlar."

Yanan bir kütük üzerinde dans eden alevlere ve yükselen dumana bakarak odundan havaya bir şeyler yayıldığını düşünmek makul sayılabilirdi. O halde, bu, alev alabilir olmanın esası, yani flojiston olmalıydı. Kanıt mı istiyorsunuz? Kapalı bir kap içinde bir mum yakın. Flojistoncular alevin söneceğini çünkü mumdan yayılan flojistonun içerideki havayı yutacağını ve daha fazla havaya da ulaşılamayacağını söylediler.

Genellikle metallerden yanma esnasında alev çıkmasa da, hava olan bir ortamda ısıya maruz bırakıldıkları zaman yeni ve mat maddelere dönüşebilirler. 18. yüzyılda bu işleme kalsinasyon deniyordu ve ortaya kalsiyum oksit çıkıyordu. Eğer bir kalsiyum oksit kömürle ısıtılırsa yeniden metal elde edilir. Kalsinasyon esnasında metallerin de flojiston saldığı düşünülüyordu. Kömür flojiston bakımından zengindi (ocak ve fırınlarda bu kadar iyi yanmasının başka bir açıklaması olabilir miydi?), dolayısıyla bu özdeği kalsiyum oksite geri kazandırmak suretiyle metal oluşturuyordu.

Yalnız burada bir sorun var. Odun yanarken kütlesi de azaldığı için, belli bir özdeği havaya saldığı kısmı doğru. Oysa, kalsine edilen metaller daha da *ağırlaşırlar*. Madem flojiston kaybına uğruyorlar, nasıl daha ağır bir hale geliyorlardı? Çoğu kimyacı bu meseleyi öteledi; kimi flojistonun bir ağırlığı olmadığını ve hatta negatif bir ağırlığı olduğunu ya da boşlukta asılı kalabilme özelliği olduğunu iddia etti.

Stahl'ın ortaya koyduğu flojiston teorisi, salt yanma olayını değil, biyolojik olanlar dahil diğer pek çok süreci de açıklayacak biçimde detaylandırılmıştı. Hem asit ve al-

kalilere, hem de solunuma ve bitkilerden yayılan kokulara da açıklık getirmeye çalışıyordu. Dahası, bu teori, kimya disiplinine kayda değer ve daha önce görülmemiş bir birlik kazandırmıştı.

1772'de Lavoisier hâlâ tutucu bir flojiston yanlısıydı. Ne var ki, yanma sürecine dair söylenebilecek tek şeyin bu olduğundan kuşkulanmaya başlamıştı. Aynı yılın sonlarına doğru metallerin kalsine edildiklerinde ("sabit") hava tuttuklarını, ve kalsiyum oksitin kömür ve ısı vasıtasıyla yeniden metale "indirgendiğinde" bu sabit havanın salındığını ileri sürdü. 1773'te Black'in sabit havasını öğrendiğinde, kalsiyum oksit oluşturmak için metalle birleşenin de bu olduğunda karar kıldı. En azından bu şekilde, ağırlık kazanma meselesi de bir açıklık kazanmış oluyordu. Aynı zamanda flojistonun varlığından söz etme gerekliliğini de ortadan kaldırmıştı.

Daha sonra, Fransız eczacı Pierre Bayen, Lavoisier'ye, bugün olsa cıva oksit diyeceğimiz "cıva kalsiyum oksiti"nin "flojiston zengini" kömür kullanmadan, yalnızca ısı vasıtasıyla cıvaya dönüştürülebildiğini gösterdi. Dahası, bu işlem sırasında ortaya çıkan gaz Black'in sabit havası değildi, bundan epey farklı bir şeydi. Neydi bu gaz? Lavoisier, Joseph Priestley ile bir akşam yemeğinde buluştuğunda durumu yavaş yavaş anlamaya başladı. Yeniliklere açık bir Presbiteryen papazı olan ve aynı zamanda Shelburne Kontu'nun evinde özel dersler veren Priestley, bilimsel çalışmalarını da yine kontun hamiliğinde yürütüyordu. 1774 yılının Ağustos ayında, Priestley, Bayen ile aynı deneyi gerçekleştirdi: Cıva oksiti ısıttı ve ortaya çıkan gazı hapsetti. Sıradan havanın olduğu bir ortamda bir mum aleviy-

le bu gazı yaktığında çok daha parlak bir ışık verdiğini ve içten yanan bir kömür parçasının ise akkor haline geldiğini gördü. Bu "hava"nın içinde yanma çok daha şiddetli gerçekleşiyordu.

Priestley'ye göre, demek ki, "hava" flojiston bakımından zayıftı ve yanan maddelerden flojistonu soğurmaya bu denli istekli olmasının sebebi de bu olmalıydı. "Flojistonsuz hava" bulunan cam bir hazneye konan fareler, içinde sıradan hava bulunan, yine aynı türden bir hazne içindekilerden daha fazla yaşıyorlardı. Bu özdekte *yaşamsal* bir yön vardı ve Priestley de bizzat soluduktan sonra şu sözleri kaydetti: "Nefes alışım bariz biçimde hafifleşti ve bir süre geçtikten sonra bile daha kolay nefes almaya devam ettim." "Şimdiye dek yalnızca farelerim ve ben bunu soluma ayrıcalığına nail olduk," demişti, ama bunun ileride sağlığı güçlendiren bir madde olarak herkes tarafından kullanılacağını hayal ediyordu.

Burada Priestley yanılıyor olabilir, çünkü 1674'te Robert Boyle'un asistanı John Mayow (1641-79) nitrenin (potasyum nitrat) ısıtılması sonucunda salınan gazın arteryel kanı kırmızı renge dönüştürdüğünü gösterdi. Mayow, metallerin kalsinasyon esnasında ağırlık kazanmalarının nedeninin bu "nitro-hava" gazı partikülleri (ki bu aslında oksijenden başka bir şey değildi) alımından kaynaklandığını ileri sürdü. Ve 1771-72'de çağının en başarılı deneysel kimyacılarından olan İsveçli eczacı Carl Wilhelm Scheele, Mayow'un yaptığı deneyin aynısını uygulayarak, yanmayı hızlandıran bir gazı izole etmeyi başardı. "Ateş havası" olarak adlandırdığı, sıradan havanın bu yanıcı unsurunun yanma esnasında flojistonla birleştiğini öne sürdü. Yani,

Priestley'nin flojistonsuzlaştırılmış havasının aslında saklı bir geçmişi vardı. Scheele'nin çalışmalarının sonuçları (buna "ateş havası"nın sıradan havanın beşte birini oluşturduğu bilgisi de dahildi) 1775 yılında daha hâlâ bilinmiyordu, çünkü bunları 1777'ye dek açıklamamıştı.

1774'ün Ekim ayında, Priestley ve Shelburne, Lavoisier ile birlikte Paris'te bir akşam yemeğinde buluştuklarında, Priestley elindeki bulguları açıkladı. Bayen'in de elde ettiği sonuçlara ek olarak, bu bulgular, metallerin kalsiyum oksit oluşturmaları için aslında "sabit hava" ile kaynaşmalarının gerekli olmadığına Lavoisier'yi ikna edebildi. Bayen, yalnızca cıva oksitten salınan gazın sıradan havaya benzediğini belirtti. Ve Lavoisier, 1775 yılının Mart ayında cıva oksitle yaptığı deneylerde, tüm kalsiyum oksitlerin, metallerin bu tür bir gazla birleşmesinden oluştuğunun ortaya çıktığını açıkladı.

Bu açıklama üzerine Priestley kendi "flojistonsuz hava"sının "üstün" niteliklerine Lavoisier'nin yeterli önemi vermediğini anladı – o salt sıradan havadan ibaret değildi. Priestley bunu kanıtlamak için Lavoisier'ye gazın bir örneğini gönderdi. Tüm bu gelişmeler sonucunda, Lavoisier, Nisan ayında Fransız Akademisi'ne yanma ilkesinin bilhassa "saf hava" –Priestley'nin gazı– olarak tanımlandığı bir makale sundu. O meşhur kendini beğenmişliğiyle ne Priestley'nin ne de Bayen'in katkılarından söz etti.

Priestley, Lavoisier ve Scheele, *Oxygen* adlı oyunda oksijenin keşfinden sorumlu üç aday olarak çıkar karşımıza. Scheele'nin hakiki dramadaki rolü de sanıldığı kadar ufak değildir. Elde ettiği bulgulara dair açıklamalarını yayıncılara 1775'te göndermiş olmasına karşın, basılı olarak yayım-

lanmaları tam iki yıl almıştı. Daha da önemlisi, Scheele Lavoisier'ye 1774'ün Eylül ayında bulgularının genel hatlarını içeren bir mektup göndermişti. Mektubun akıbeti bilinmiyor ancak *Oxygen* oyununda merkezi bir önemi var.

Lavoisier öncelikleri söz konusu olduğunda düşüncesiz sayılabilecek biriydi belki de ama başkalarının sonuçlarını kopyalayarak haddini aştığı da bir gerçek. Priestley'e göre, oksijen her zaman flojistondan arındırılarak değişime uğramış sıradan havanın bir bileşeni olarak düşünülecekti; Scheele'nin değerlendirmesi de buna çok yakındı. Lavoisier de sonunda "saf hava"nın başlı başına bir özdek olduğunu anlamıştı. Bu bağlamda, hava bir element değil, bir karışımdı. Oksijeni element yapan Lavoisier olmuştu.

Olayların kronolojik gelişimine bakıldığında, oksijenin, yanma hadisesine bir açıklama getirme çabası sırasında ortaya çıktığı görülüyor. Ne var ki, Lavoisier aynı zamanda bu yeni elementi bugün bile kimyacılar için tam bir gizem olan asitlik ilkesini de açıklayan bir kaideye dönüştürme hevesindeydi. Fakat bu konuda o kadar başarılı olamadı. Sülfür, karbon ve fosfor gibi madeni olmayan pek çok element oksijenle birleştiğinde suda çözünen ve asitleri oluşturan gazlar üretirler. Lavoisier'nin yeni elemente bu adı vermesinin gerekçesi de buydu (Almancada oksijen hâlâ *Sauerstoff*, "asit madde" olarak bilinir). Ne var ki, asitlerin hepsi oksijen içermez; içerenlerin de asitliklerinin kaynağı oksijen değildir.

Lavoisier'nin görüşleri, elementlere dair hâlâ gelenekçi çizgisini koruduğunu gösteriyordu. Elementler, genellikle, bir karışımda belirgin kalmaya devam eden, yapısal özellikleri olan renkler veya baharatlar gibi görülürlerdi. Ancak

durum böyle değildi. Bir element, karıştırıldığı maddeye bağlı olarak, pek çok farklı karakteristik gösterebilir. Klor aşındırıcı zehirli bir gazdır; sofra tuzundaki sodyumla karıştırıldığında ise tamamen zararsız hale gelir. Karbon, oksijen ve nitrojen yaşamın kaynağıdır, fakat karbonmonoksit ve siyanür (bir karbon ve nitrojen karışımı) ölümcüldür. Bu da kimyacıların kabul etmekte zorlandıkları bir durumdu. Lavoisier suyun oksijen ve hidrojenden meydana geldiğini iddia ettiği için de eleştirildi: Çünkü su, yangınları (onu eleştirenlerden biri de suyun "sahip olduğumuz en güçlü anti-flojistonik" olduğunu söylemişti) söndürebilirdi, oysa hidrojen son derece yanıcı bir maddeydi.

Oksijen, flojistonu sadece gereksiz kılmıyordu; ikisi arasında kökensel bir uyumsuzluk vardı. Oksijen flojistonun tam zıttıydı. Oksijen yanma esnasında dışarı çıkmıyor, tüketiliyordu. Aslında, yanma hadisesi flojiston doygunluğuna ulaşıldığı zaman değil, havadaki oksijen tükendiği zaman sonlanıyordu. Doğrusu flojistonu bu denli mantıklı gösteren de yanıltıcı bir benzerliği olmasıydı. Bilim yanma olayını açıklayabilmek için böyle bir elemente ihtiyaç duyuyordu – ne var ki, meseleye tamamen yanlış bir açıdan yaklaştılar. Flojiston aslında oksijenin gölgesinden başka bir şey değildi.

Gelgelelim, Lavoisier flojistondan yavaş yavaş vazgeçti. Başta hiç söz etmemekle yetindi. Ancak 1785 yılında resmi ve ayrıca epey sert bir açıklama hazırladı:

> Kimyacılar flojistonu net olarak tanımlamadıkları için, belli durumlara doğru düzgün bir açıklama getiremeyen bulanık bir ilke haline getirdiler. Bazen bir ağırlığı varken,

bazen de yok; bazen serbest ateş, bazen de toprakla bütün bir ateş; bazen bulunduğu kabın dışına kaçabilirken, bazen bu mümkün değil. Aynı anda hem yanarlığı hem de yanmazlığı, transparanlığı ve opaklığı, rengi ve renksizliği ifade ediyor. Sürekli form değiştirmesiyle tam bir Proteus!

Ne var ki, Lavoisier flojistonun temsil ettiklerinden bütünüyle vazgeçemiyordu. Diğer pek çok çağdaşı gibi o da, ısının, antik ateş elementi benzeri somut bir özdek olduğunu düşünüyordu. Onu ısıl olarak adlandırdı ki bu da flojistonun kılık değiştirmiş hali gibi geliyordu kulağa. Isıl, özdekleri gazsı hale getiriyordu; oksijen gazı da ısılla doluydu. Oksijen, kalsiyum oksit oluşturmak üzere metallerle bir tepkimeye uğradığında, ısıl açığa çıkıyor (ısı salımı) ve bunun sonucunda da oksijen yoğunlaşıp ağırlaşıyordu.

Bu fikirler Lavoisier'nin 1773'te yazdığı bir denemede açıkça dile getirilmiştir. Lavoisier burada maddenin üç farklı halini tanımlar: Katı, sıvı ve gaz. Ayrıca, burada özdeklerin fiziksel ve kimyasal doğaları arasında önemli bir ayrım belirler ki antik dönemde bu denli kısıtlı bir element sistemine yol açan kafa karışıklığı da bundan kaynaklanmıştır. Lavoisier şöyle der: "Aynı madde bu üç halden de başarıyla geçebilir ve bu hadiselerin gerçekleşmesi için de bu maddeyi daha az ya da daha çok ateş maddesiyle birleştirmek yeterli olacaktır."

Ateşin bir element türü olduğuna dair inanç (süslü bir ad verseniz de) Lavoisier'nin elementlere bakışında klasik dönemden kalan tek şey değildi; hakiki elementlerin aynı anda her yerde oldukları veya en azından pek çok özdeğin bileşenleri oldukları anlayışını da saklı tutuyordu:

Bir özdeğin element olduğunu söyleyebilmemiz için sadece halis, bölünmez veya en azından hiç ayrışmamış olması yeterli değil. Ona element diyebilmemiz için doğada geniş bir yayılım göstermesi ve birçok cismin bileşiminde asli ve kurucu bir öğe olarak yer alması gerekir.

Lavoisier, tüm bu antik dönem merakına karşın, kimyacıların elementlerle ilgili düşüncelerini dönüştürmüş biridir. 18. yüzyılın başlarında yalnızca beş element tahayyül edilebiliyordu. Lavoisier 1789'da yayımladığı *Traité élémentaire de chimie* (*Kimya Üzerine Temel Bir İnceleme*) başlıklı ders kitabında elementi şöyle tanımladı: "Kimyasal tepkimeler sonucunda daha saf bileşenlere ayrıştırılamayan her özdek bir elementtir." Ve bu tanım doğrultusunda en az otuz üç element sıraladı. Bunlardan bazılarının (ışık ve ısıl) uydurma olduklarının kanıtlanması için 19. yüzyıl fiziğine ihtiyaç duyulacaktı. Ne var ki, geri kalanların çoğu aslında kimyacıların henüz elementlerine nasıl ayrıştıracaklarını bilmedikleri bileşiklerdi. Fakat mesaj gayet açıktı: Element düzeni kesinlikle "basit" değildi. Dışarıda çok sayıda element vardı ve onları bulmak artık kimyacılara kalmıştı.

Yaşamın işaretleri

Bilim insanları ilk kez güneş sistemi dışında bir gezegeni kendi gözleriyle göreli çok az bir zaman oldu. "Güneş sistemi dışında" saptanabilen ilk gezegen 1996 yılında kendi yörüngesinde ilerlerken ana yıldızına yolladığı titre-

şimler sonucu tespit edilmişti. Öte yandan, astronomlar 1999 yılında yine böyle bir gezegenden bu kez ışık yansıması saptadılar. Bu ışık mavimsi bir renkteydi.

Ne yazık ki, bu, keşfedilen gezegenin Dünya'ya benzediği anlamına gelmiyor; bu mavi ton muhtemelen gezegen atmosferinde bulunan diğer gazlardan kaynaklanıyor. Peki ya bir gün bilim insanları tıpkı bizim gezegenimizdeki gibi oksijenin parmak izi sayılan türde ışık yansıtan bir gezegen keşfederlerse? O durumda bunun yaşam olan bir gezegen olmadığını söylemek çok zor olacak.

Bu oldukça önemli bir bilgi: Oksijen neden yaşam demektir? Bilim insanları 1960'lara dek Dünya'nın oksijen zengini atmosferinin –atmosferin kabaca beşte birini oksijen, beşte dördünü nitrojen oluşturur– "verili" olduğunu ve Dünya'nın ilk dönemlerinde yaşanan jeolojik süreçlerden kaynaklandığını düşünüyorlardı. Bu tasvire bakarsak eğer, oksijen örtüsüyle kaplı bir gezegen yaşamı destekleyebilirdi, ancak her zaman böyle olmak zorunda değildir.

Artık çok daha farklı bir bakış açısı hâkim. Havanın kimyasal yapısı, yaşam için bir önkoşul olmaktan ziyade, onun bir sonucu. Yaklaşık iki milyar yıl önce, oksijenden mahrum bir gezegeni ilkel organizmalar oksijenle doldurdular.

Gezegenimizin atmosferinde yüksek seviyelerde oksijen olmasını sağlayacak bilinen herhangi bir jeolojik süreç yok. Gazlar en nihayetinde kayaçlarla tepkimeye girecek ve toprak altına hapsolacaklardır. Oksijeni bağlı olduğu diğer elementlerden ayırıp onun gökyüzüne çıkmasını ancak biyolojik süreçler sağlayabilir. Eğer bir gün Dünya üzerindeki tüm yaşam sonlanırsa, oksijen seviyesi de yavaş yavaş azalacak

ve anlamsızlaşacaktır. Bu doğrultuda, oksijen zengini bir atmosfer yaşamın varlığına işaret eden bir deniz feneri gibidir.

Hayvanların tümü oksijene muhtaç olsa da, bazı organizmaların buna ihtiyaç duymaması hiç de şaşılacak bir şey değil. Bakterilerin çoğu anaerobiktir: Oksijen tüketmezler ve hatta ondan rahatsız olurlar. Bu organizmalar deniz yataklarındaki çamur içinde ve bataklık alanlarda, petrol zengini alanların derinliklerinde ve havanın ulaşamadığı pek çok başka yerde rahatlıkla yaşayabilir.

Yaklaşık 3,8 milyar yıl önce, yaşam başladığında ilk ortaya çıkan hücreler anaerobiklerdi. O zamanlar atmosfer muhtemelen nitrojen ile karbonmonoksit ve su buharı ve belki de metan gibi gazların bir karışımıydı. Bu ilkel bakteriler de biyokimyasal süreçler için –tıpkı herhangi bir organizma gibi– bir enerji kaynağına ihtiyaç duyuyordu. Ve bazı araştırmacılar da bu enerjiyi öncelikle su altındaki volkanların ısı ve kimyasal enerjilerinden aldıklarını düşünürler.

Ne var ki, hemen her yerde bulunabilen ve çok daha bol miktarda mevcut bir enerji kaynağı daha var: Güneş ışığı. Evrimin ilk aşamalarında yaşam bir noktada güneş ışınlarını fotosentez yoluyla nasıl yakalayacağını keşfetti. Işık enerjisi karbondioksiti parçalayarak yaşamın karbon temelli moleküllerini sentezler. Pek çok organizmanın gerçekleştirdiği fotosentez tepkimelerinin yan ürünlerinden biri de oksijendir. Bu gaz denizlerde çözünmüş olan demir gibi diğer özdekler tarafından milyonlarca yıl boyunca soğruldu. Fakat bu "oksijen havuzları" en nihayetinde tamamen doygunluğa ulaştı ve oksijen de artık atmosferde birikmeye başladı.

Bu bizim açımızdan her ne kadar güzel bir rastlantı olsa da, fotosentez yapan hücreler için o zamana dek gerçek-

leşmiş en büyük küresel çevre kirliliği anlamına geliyordu. Onlar için oksijen katıksız bir zehirdi. Dost canlısı bir element gibi algılansa da, aslında en aşındırıcı ve yıkıcılarından biridir. Kimyasal tepkimeye girmeye oksijen kadar hevesli olan başka çok az element vardır.

En nihayetinde, yalnızca tek bir kıvılcım bile koskoca bir ormanın oksijenle tepkimeye girmesi için yeterli. Bunun sonucunda, 1998-9 yıllarında Endonezya'nın üzerini, yerel iklimi değiştirmeye yetecek kadar büyük bir duman bulutu kaplamıştı. Çok daha uzak geçmişte küresel ölçekte oldukları jeolojik olarak kanıtlanan devasa yangınların yanında ise bu bir kamp ateşi gibi kalıyordu.

Aziz Matthew, Dünya üzerinde "güve ve pas işlemeyen" hiçbir hazine olamayacağı öğüdünü vermişti – çünkü yakın bir zamana dek demir ve çeliği oksijenin doyumsuz iştahından korumanın herhangi bir yolu bilinmiyordu. Örneğin, oksijen, verniği başkalaştırarak eski resimleri kahverengiye dönüştürür; havayla temas eden metallerin çoğu saniyeler içinde oksitlenmeye başlar.

Doğa ise bununla başa çıkmayı bilir. Eğer hava zehirliyse, o zaman zehirle yaşamayı öğrenecektir. Oksijen soluyor olmamızın nedeni, onun bizim için tabii bir faydası olması değil, onu bize daha az zararsız hale getirecek şekilde evrimleşmiş olmamızdır. Hücrelerimizdeki enerji fabrikalarında şekeri yakmak için oksijen kullanılırken, bu süreçte oluşan ölümcül bileşikleri de enzimler yok eder. Bu bileşikler arasında endüstriyel ve domestik çamaşır suyu olarak kullanılan hidrojen peroksit ile çok daha yıkıcı serbest radikal süperoksit gibi bileşikler de vardır. Bu tür özdekler, DNA dahil, hücrelerimizdeki hassas biyomoleküllerde

hasarlara yol açar. Tabii hücrelerde oluşan hasarı tamir etmeye uğraşan moleküler mekanizmalar vardır, ancak bu hasar kaçınılmaz olarak artar ki yaşlanma sürecinin en önemli etkenlerinden biri de budur.

Dolayısıyla, oksijen zengini bir gezegende yaşamak ne en uygunu ne de en idealidir; sadece durum bu şekilde gelişmiştir. Oksijen, en nihayetinde, bol bulunan bir elementtir: Evrende en çok bulunan üçüncü elementtir, yerkabuğunda ise %47'lik bir oranla birinci gelir. Öte yandan, canlı yaşamı (biyosfer) bir şekilde atmosferdeki oksijen oranını bizim gibi aerobik (oksijen soluyan) organizmalar için mükemmel bir seviyeye getirmenin yolunu da bulmuş. Şayet havadaki oksijen oranı %17'den az olsaydı, boğulurduk; %25'ten fazla olsaydı, bu kez tüm organik maddeler çok kolay tutuşurlardı: En küçük bir tetiklemede yanma başlar ve zaptedilmesi imkânsız yangınlar sarardı her yanı. Eğer havadaki oksijen oranı %35'e çıksaydı, Dünya'daki yaşamın büyük kısmı çoktan yok olmuş olurdu. (NASA da, 1967'de yapılan ilk Apollo testleri sırasında gerçekleşen trajik ve ölümcül yangın felaketinden sonra, uzay araçlarında saf oksijen yerine normal hava kullanmaya başladı.) Yani %21 olan mevcut değerde uzlaşılması gayet iyi olmuş.

Havadaki oksijen yoğunluğunun istikrarı, Dünya'nın biyolojik ve jeolojik sistemlerinin birlikte hareket ederek yaşam için elverişli bir atmosfer ve çevre oluşmasını sağladıkları hipotezini –Gaia hipotezi de denir– destekliyor. Hava oksijen zengini olduğu andan itibaren oksijen seviyesinde dalgalanmalar olmuştur elbette, ancak aşırı bir değişiklik hiç olmadı. Ayrıca, bugün atmosferdeki oksijen oranı, stratosferde bizi Güneş'in en zararlı ultraviyole ışın-

larından koruyan ozon tabakasının oluşmasına yetecek düzeyde. Bu arada, ozon, atomların oksijen gazında olduğu gibi çiftler halinde değil, üçlü olarak birleştiği saf oksijenin UV filtreleyen bir formudur.

Peki, atmosferdeki oksijen bu istikrarlı seviyesini nasıl koruyabildi? Daha önce de gördüğümüz üzere, atmosferdeki oksijen, fotosentez esnasında organizmaların oksijeni su moleküllerinden çekip almasıyla oluşur. Fotosentez yapan organizmalar arasında tüm bitkilerin ve bakterilerin birçoğu yer alır. Oksijen, hayvanlar ve diğer aerobik organizmalar tarafından tüketilir. Oksijenin istikrarlı seviyesini bu kaynaklarla biyosferdeki havuzlar arasında bir denge olarak görmek mantıklı bir fikir gibi duruyor. Ne var ki, durum salt bundan ibaret değil. Okyanuslar, atmosferdeki büyük oksijen seviyesi değişikliklerine karşı bir tampon işlevi görür, çünkü eğer oksijen seviyesi düşerse, denizlerdeki organik maddelerin çürümesi (ki bu süreçte havadaki oksijen kullanılır) yavaşlar.

Biyosfer, kayaçlar, volkanlar ve okyanusların da dahil olduğu pek çok süreçte, oksijen, hiç durmadan tüketilen ve geri dönüştürülen birkaç hayati elementten biridir. *Biyojeokimyasal döngüler* olarak adlandırılan bu süreçler de birbirleriyle bağlantılıdır: Oksijen, karbon, nitrojen ve fosfor döngülerindeki değişimler arasındaki bağ. Bu iç içe geçmiş çarklar sayesinde gezegenimizdeki ortam kararlılığını iyi kötü sürdürebilmektedir. Bu çarklardan yalnızca birinin hızı değiştiğinde –örneğin, endüstriyel ve zirai uygulamalar sonucunda atmosfere karbon zengini gazlar pompalanması– çarkların geri kalanında öngörülmesi çok zor sıkıntılar meydana gelebilir. İnsanların eylemleri neti-

cesinde gelişen küresel iklim değişikliğinin gidişatını tam olarak kestirememememizin nedeni de bu.

Biyojeokimyasal çarklar her daim döndüğü için, Dünya'nın da kimyası *kararlı* bir hale gelemez. Kimyasal bir süreç kararlı bir noktaya ulaştığında artık hiçbir şey değişmez. Öte yandan, gezegenimizdeki kimyasal istikrar hareketsizliğe değil, bilakis, aralıksız değişime bağlıdır. Bu, bir insanın aynı yerde ayakta durmasıyla bir yürüyüş bandında yürümesi arasındaki farka benzer.

Dünyadaki bu kararsızlık deniz ve kayaçlardaki inorganik süreçlerden de payını alır, ancak biyosfer, yani yaşam, en nihayetinde bir denge sağlamayı başarır. Çarkları asıl döndüren de genellikle fotosentez yapan organizmaların yakaladığı güneş ışığı enerjisidir. Şayet yaşam ortadan kalkarsa, o zaman gezegen de yavaş yavaş şimdiki ortamdan çok daha farklı bir statik kararlılığa doğru yol alacaktır.

Bunu komşu gezegenlerin atmosferlerine bakarak da görebiliriz. Venüs ve Mars büyüklük açısından Dünya'ya benzerler ve onlar da az çok benzer element karışımlarından oluşmuşlardır. Ne var ki, şu anda bu gezegenlerin gökyüzündeki oksijen miktarı çok düşüktür –%1'den az– ve nitrojen de yine azdır. Mars'ın çok ince ve buna karşılık Venüs'ün çok kalın olan atmosferleri yaklaşık %95 oranında karbondioksitten oluşur. Venüs'ün bu kalın sera gazı örtüsü yüzey sıcaklığının 750 °C civarına kadar çıkmasına, Mars'ın ince tabakası ise –50 °C gibi dondurucu sıcaklık düşüşlerine neden olur. Oksijen eksikliğine ve atmosfer gazlarının karışımlarının kararlı olmaya ne kadar yatkın olduklarına uzaktan bakarak, bu iki gezegende yaşam olamayacağı iddiasında bulunmak mümkün.

III. Bölüm

ALTIN: MUHTEŞEM VE LANETLİ ELEMENT

Bir satirin oğlu olduğu her halinden belli olan Midas, dünyevi zevklere oldukça düşkün bir kraldı. Küçük Asya'da, her bir köşesine gül bahçeleri ektirdiği Frigya'da hüküm sürerdi.

Midas'ın bahçıvanları, bir gün bu hoş kokulu bahçelerden birinde yaşlı ve hovarda bir satir olan Silenos'u içkili bir âlemin ardından uyuyakalmış olarak buldular. Silenos, o sırada ordusuyla yakınlardan geçmekte olan ve taşkınlıklarıyla bilinen tanrı Dionysos'a da babalık yapmış biriydi. Satir bir şekilde Dionysos'un topluluğundan ayrı kalmış ve yorgun düşerek bahçelerden birinde kendine dinlenecek bir yer bulmuştu.

Silenos, Midas'ın huzuruna çıkarıldığında, beş gün boyunca anlattığı olağanüstü öykülerle kralı büyüledi. Midas hoşgörü gösterip bu eğlenceli misafirini Dionysos'a geri gönderdi. Bunun üzerine, şenliklerin tanrısı, mükâfat olarak krala bir dileğini gerçekleştirebileceğini söyledi. Midas, dokunduğu her şeyin altına dönüşmesini istediğini söyledi.

Fakat çok geçmeden büyünün yalnızca taşlar ya da eşyalar üzerinde değil, yemekler, içecekler ve hatta (mitin modern anlatılarında) kızında da etkili olduğunu anlayınca hemen Dionysos'a açlık ve susuzluktan ölmeden önce büyüyü bozması için yalvarmaya başladı.

Dionysos ise tam da bunu bekler gibiydi. Gülerek krala Anadolu'nun bir dağı olan Tmolos Dağı'ndan akan Paktolos Nehri'nde yıkanmasını salık verdi. Midas bunu yaptıktan sonra o altın dokunuşunun gerçekten de yok olduğunu gördü. Fakat, bu kez de Paktolos Nehri'nin kumları altına dönüşmüştü. İşte o günden sonra bu değerli maden hâlâ bu nehirden çıkarılmaya devam eder.

Kral Midas'ın hikâyesi altının cazibesinin tehlikelerine dair klasik mitolojide yapılmış en hoş uyarılardan biridir. Kimilerine göre Midas MÖ 2000'lerin ortalarında Makedonya civarında yaşamış Mosinik halkının kralı Mita'dır. Midas/Mita Bermios Dağı yakınlarındaki bir altın madeninin sahibidir ve Mita hanedanının müthiş servetinin kaynağının bu maden olduğu söylenir. Yani bu inanılmaz zenginliklerin kaynağı aslında çok daha dünyevidir.

Midas altın hırsının getirdiği lanetten kılpayı kurtulmuştu. Oysa, antik dönemlerde altın peşinde koşan diğer pek çok kişi pek o kadar şanslı değildi. Hele Troya Savaşları zamanında bir Trak kralı olan Polymnestor'un sonu kadar trajik ve berbat olanı pek azdır. Troya kralı, oğlu Polydoros'u Agamemnon'un hain planlarından koruması ve yetiştirmesi için Priamos'u görevlendirir. Fakat oğlunun bakım ve eğitim masraflarında kullanılması için kralın verdiği altınlar Priamos'un aklını başından alır ve onlara kendi sahip olmak için Polydoros'u öldürür.

Priamos'un karısı Hekabe, Polydoros'un sahile vuran cesedini bulur ve olay ortaya çıkar. Aynı zamanda damadı da olan Polymnestor'a, Troya'nın harabelerinde yatan hazinenin yerini göstereceği yalanıyla bir tuzak kurar. Kral iki öz oğluyla çıkagelir; Hekabe iki oğlunu bıçaklayarak öldürür ve tırnaklarıyla Polymnestor'un gözlerini oyar.* Romalı yazar Vergilius söylenceye kendi getirdiği yorumda Polymnestor'un davranışları karşısında nasıl dehşete düştüğünden bahseder ve böylesi bir hainliğin ardındaki asıl nedeni gösterir:

> Tüm kanunları çiğner, Polydoros'u katleder ve şiddet yoluyla altın elde etmeye çalışır. Ey altına olan uğursuz açlık, şu fani kalplere neler neler yaptırmazsın ki.

Gerçekten de neler yaptırmadı ki? Para tüm kötülüklerin anasıdır deyişinde kastedilen, banknottan ziyade, ışıltılı ve kalleş altından başka bir şey değildir aslında. Rönesans insanları klasik dönemi Altın Çağ olarak ülküleştirmişlerdi; oysa, Romalı yazar Propertius bunun asıl manasıyla ilgili bir yanılsama içinde değildi; altın tüm kapıları açardı

* Aslında, Polymnestor'un akıbeti –ve ihaneti– söylencenin farklı anlatımlarında değişiklik gösterir. Birinde Agamemnon'un Polydoros'u öldürmesi için teklif edilen yeni bir eş ve altın dolu bir sandığa, hırs ve servet düşkünlüğü nedeniyle nasıl karşı koyamadığı anlatılır. Fakat, Polymnestor, Priamos'a oğlunu koruyacağına dair ettiği yemini bozamaz ve onun yerine kendi oğlu Deiphilos'u öldürüp Polydoros'u öldürmüş süsü verir. Ve Polydoros, Polymnestor'u bu olaydan sonra haliyle terk eden karısı İliona'dan hakikati öğrenince, babası bildiği bu adamı kendi elleriyle önce kör edip ardından da katleder.

ve yeterli bir bedel ödendiği takdirde hakikat, dürüstlük ve özgürlükler sindirilebilirdi:

> Bu gerçekten de tam bir Altın Çağ. En büyük ödüller hep altından; sevgi altınla kazanılıyor; inanç altınla yok ediliyor; adalet altınla satın alınıyor; kanunlar altının peşinden gidiyor ve kanunlar da gittiğinde geriye bir tek utanç kalıyor.

Parada pulda gözü olmayanların övülmesi, servet peşinde koşanların ise kınanması klasik dönemin yaygın tutumlarından biriydi. Sokrates dünyevi zenginlikler için didişmek bir yana, varsıl öğrencisi Aristippos'un altın teklifini reddetmiş olmasıyla bilinirdi. Bu örnekten ilham alan Aristippos, bir keresinde, kölelerine uzun yolculuklarda taşımakta zorlandıkları altınları atmalarını tembihlemişti. Dicle üzerinde bir kasaba olan Babytake sakinlerinin altınlarını kimse bulamasın diye yeraltına gömdükleri söylenir. Hatta klasik dönem yazarları, İskitler gibi barbar ırklarda servet tutkusuna rastlanmamasından övgüyle söz etmişlerdir. Romalı general Marcus Crassus, altınlarını ele geçirmek için Aşkaniler'e saldırdığında, altının insanı ne denli gözü kara yapabileceğini gösterir. O ve on bir lejyonu hezimete uğrar; Crassus'un esas niyetini öğrenen Aşkaniler ise ölü generalin ağzına erittikleri altınları gülerek boşaltırken şöyle derler: "Demek altına susadın, kana kana iç bakalım şimdi."

Tabii bu çok zaman önceydi. Ama eskilerin başına gelen onca şeyden sonra bile altın hırsı gücünden hâlâ hiçbir şey kaybetmiş değil. 16. yüzyılda Alman yazar Georgius Agricola şöyle bir itirafta bulunmuştu:

Altın ve gümüş elde etmek için kapıların kırıldığını, duvarların yıkıldığını, biçare yolcuların çalmak, kutsala küfretmek, gasp etmek için dünyaya gelmiş zorba ve acımasız adamların saldırılarına uğradıklarını duymak artık gündelik yaşamımızın bir parçası. Her gün hırsızların gözümüzün önünde yakalanıp asıldıklarına, kutsala küfredenlerin yakıldıklarına, gaspçıların işkence aletleriyle kemiklerinin kırıldığına ve aynı gerekçeyle savaşlar ilan edildiğine şahit oluyoruz... Bir tek bununla da kalmıyor; kıymetli metallerin, kadınların baştan çıkarılması, zina ve iffetsizlik gibi, kısacası kişiye karşı işlenen her tür şiddet suçunu, her tür ahlaksızlığı beslediği de söyleniyor.

İspanyollar altın uğruna Perulu İnkalar'ın kadim medeniyetini dahi ortadan kaldırdılar: Pizarro, vahşilerin Hıristiyanlaştırılması misyonunu soğuk ve kesin bir dille reddetmişti: "Ben buraya yalnızca altınlarını almak için geldim." 19. yüzyılda Yeni Dünya'ya yerleşenler altın uğruna Batı Amerika'nın tozlu çöllerinde ölümleriyle buluştular. James Bond *Altın Parmak* filminde, Fort Knox'un kasalarına gözünü diken kanlı canlı bir Midas ile Polymnestor karışımı olan Auric Goldfinger'la karşı karşıya geldi.

Asıl ironik olan, güzel gözükmek dışında hiçbir becerisi olmayan bir moda mankeni gibi, paha biçilemeyen altının en işe yaramaz metallerden biri olması. Demir, bakır, magnezyum, manganez ve nikelin aksine, altın, hiçbir doğal biyolojik role de sahip değil. Alet yapmak için ise çok yumuşak ve gereğinden fazla ağır. Yine de insanlar hiç yorulmadan onu aramış; yalnızca son beş yüz yılda yaklaşık

100,000 ton altın elde etmek için tüneller kazmış, toprak altında dinamitler patlatmış, dağlar kadar kum elemiş. "Altın," der Jacob Bronowski, "tüm ülkelerde, tüm kültürlerde ve her çağda evrensel bir ganimet olagelmiştir."

İşte, altını bu denli değerli kılan, tam da onun bu işe yaramazlığı, inert ve ayrık doğasıdır. Fevkalade tepkisiz bir elementtir ve havadaki gazlarla da karışamaz. Bu da altının yüzeyinin kararamayacağı anlamına gelir ki mücevher yapımında bu denli gözde olmasının nedeni de budur. Kimyacılar bu kimyasal tepkime eksikliğine işaret etmek için altına "soy" metal adını vermişler – bu teknik terim, farkında olmadan, altının görkemli tarihçesini, mükemmelliğini ve muazzamlığını olduğu kadar, asalet ve ayrıcalıkla olan ilişkisini de yakalamış. Ortaçağ'ın sonlarında İngiltere'de altın paraya *noble* [soylu] denirdi.

Altına duyulan bu kadim merakın kökleri göründüğünden çok daha derinlere iniyordu tabii. Zamanın aşındırıcılığına karşı direnci sayesinde bu metal diğerlerinin aksine hâlâ güzel görünmeye, parlamaya devam edebiliyordu; ne var ki, bu salt fiziksel bir çekim değildi. Simyacılar bu bozulmazlığın ruhani bir saflığı yansıttığını farz ediyorlardı; işte, bu yüzden çoğu için altın yapmak, zenginliğe duyulan bir özlemden ziyade, dinsel bir misyondu. Altın çürümediği için Çinli simyacılar onun ömrü uzatabileceğini düşünüyorlardı. Dolayısıyla, yaşamsal ve gençlik veren bir iksir arayışlarında bizzat altının ruhunu ele geçirebilme çabası vardı. Sarı rengiyle en derin ve en asli her şeyi simgeliyordu: İnsanlığın itibarı, pusulanın dört istikameti gibi. Roma imparatorunun rengi morken, sarı renk Çin imparatoruna aitti.

Bilim insanı olmayanlar için en tanıdık, en kolay ayırt edilebilen elementler metallerdir – çünkü herkes ruhsuz demiri, yumuşak ve kızıl bakırı, cıvanın sıvı aynasının benzersizliğini görebilir. Ve tüm bu sıkıcı özdekler içinde altın kadar iç titreten, zenginliği çağrıştıran başka bir element daha yoktur. Altın öteden beri itibarın ve saflığın sembolü olagelmiştir. En başarılı atletler altın madalya kazanırlar (en eski madeni paraları yankılayan üç maden arasından); en iyi rock grupları altın plakla ödüllendirilirler. Evlilik yeminleri altın yüzüklerle mühürlenir ve elli yıl sonra, yani mutlu bir evliliğin en kıymetli yıldönümü bu metalle taçlandırılır. Kredi kartından kahveye dek her şey altınla ilişkilendirilerek satılabilir. Platin daha nadir ve daha pahalıdır ve onu altından daha değerli kılabilmek için bazı girişimler olmuştur. Fakat bu işe yaramayacaktır, çünkü onun arkasını destekleyecek efsaneler veya mitler yoktur. Kimyasal karakteristikleri ne olursa olsun, hiçbir element kültürel geleneklerimizde altın kadar sarsılmaz bir yer edinme şansına sahip olamayacaktır.

Göz alıcı altın

Altın nispeten nadide bir metaldir: Yerkabuğunda altının dört milyon katı demir bulunur. Öte yandan, ustalar ve zanaatkârlar yaklaşık yedi bin yıldan beri altınla çalışırken, Demir Çağı ancak MÖ 1200 civarında başlayabilmiştir ve demirin kullanımı Romalıların zamanına dek de yaygınlaşmamıştır. Bunun nedeni de gayet basit aslında: Altın tepkisizdir, toprakta bulunan diğer elementlerle

kendiliğinden birleşmez ve fakat daha çok kendi "doğal" element formunda bulunur. Eğer nereye bakmanız gerektiğini biliyorsanız, altını toprağın içinden olduğu gibi çıkarabilirsiniz. Buna karşın, demir, oksijen ve sülfür gibi elementlerle birleşir ve maden cevherleri oluşturur. Bu durumda metali diğer elementlerden ancak kimyasal bir tepkime yoluyla ayırabilirsiniz.*

Doğal altın çoğu zaman saf değildir, genelde gümüşle alaşımlıdır. %20'den fazla gümüş barındıran doğal bir alaşıma elektrum denir ve eskiler onu altından farklı bir metal olarak görürlerdi (gerçi, daha önce de gördüğümüz üzere, metaller arasında tür değil seviye farkı olduğu düşünülürdü). Bugün mücevherlerde kullanılan "yeşil altın" da elektrumdur ve yaklaşık %27 oranında gümüş içerir. Limon yeşili bir tondadır.

Yerkabuğunda altının oranı ortalama milyarda iki buçuktur: Her bin ton kayaçta 2,5 gram. Altın yatakları, madenin bir şekilde yoğunlaşarak küçük kristaller veya ince tabakalara dönüştüğü ana maden cevherleri içinde bulunur. Bu, klor veya sülfür barındıran çözünük tuzlarca zengin ılık suyun kayaçların içine nüfuz etmesiyle gerçekleşir.

* Bilinen en eski demir aletler Mısır mezarlarında bulunmuştur ve yaklaşık MÖ 3500'lere aittir ki bu da Demir Çağı'nın çok daha öncesi demektir. Bu objelerin, meteorlarda bulunan doğal demir elementinden yapıldıkları düşünülmektedir. Eskimolar da demiri yüzlerce yıl boyunca Arktik kar yığınları içinde bulunan tek bir büyük meteordan temin ettiler. İşte, demir bir kez daha altından daha saygın, daha değerli olmuştu, çünkü Dünya üzerinde hiçbir yerde bulunmuyor ama göklerden geliyordu. Mısırlılar ona *baa-en-pet*, yani "göklerin demiri" adını vermişlerdi.

Altın bu maddelerle çözünebilir bileşikler oluşturabilir* ve böylelikle sıvılar kayaçlardan dışarı sızabilir. Daha sonar, tuzlu su soğuduğunda (ya da bazı durumlarda volkanik hareketlilik nedeniyle daha da ısındığında), altın çökelerek saf metal zerrecikleri oluşturur. Bu tür yataklar genelde kuvars ve pirit damarlarına yerleşirler. Bir demir sülfat olan pirit, parlak metalik cilası nedeniyle sıklıkla altınla karıştırılırdı ki bu yüzden adı "ahmak altını"na çıkmıştı.

Kayaçlarda bulunan altın damarları maden yatakları olarak bilinir. Esas damara "ana damar" denir ve günümüzde Kaliforniya'nın Altına Hücum döneminin en ünlü yataklarından birini ifade etmek için de kullanılır. Bu yataklar, yerkabuğunun üst kısımlarına yakın yerlerde, nispeten düşük sıcaklık ve basınçlarda oluştuklarından, altın bakımından fevkalade zengin olurlar. Bu tür yataklar Colorado ve Nevada'da bulunur ve 19. yüzyılda refah anlamına gelen İspanyolca bir sözcükle anılagelmişlerdi: *bonanza*, şimdilerde Vahşi Batı mitini anımsatan bir tabir.

Yağmur ve nehir suları zamanla pek çok mineralin çözünüp dağılmasına yol açar; bu sürece aşınma denir. Fakat altın, suyun yıprandırıcı etkisine karşı dirençlidir ve, dolayısıyla, ev sahibi kayaçlar suyla aşınıp gittikleri zaman maden yataklarındaki zerrecikler de açığa çıkarlar. Küçük altın zerrecikleri maden damarları üzerinden geçen nehir ve akarsu tortullarında birikirler ve bu birikintiler alüvyon yataklarında toplanmaya başlamadan

* Altın sülfat çözünür değildir, ancak altın, kükürt ve oksijen bileşiminden oluşan altın tiyosülfat kolaylıkla çözünebilir.

önce epey uzak mesafelere sürüklenebilirler. Altın zerrecikleri nehrin yatağındaki kayalara çarparak ilerledikçe pürüzsüzleşir ve maden arayanların bildiği o ufak altın keseklerine dönüşürler. Altın zengini alüvyonlar ağır tortu yatakları olarak bilinirler ki bunlar da doğal altının en bol bulunduğu kaynaklardır. İnsanlar, bu ağır tortu yataklarındaki ince taneleri elek yardımıyla ayıklayarak altın çıkarabileceklerini çok uzun bir zaman önce keşfettiler: Yıkama tekniği (Resim 3). Yani altın hem cevher damarlarından, hem de ağır tortu yataklarından çıkarılabiliyordu. Kayaçlardan altın çıkarmak iyi bir organizasyon, ucuz emek ve oldukça sabır gerektiren bir işti. Antik Mısırlılar bu üçüne de sahipti: Yaklaşık MÖ 2000'li yıllardan itibaren köleler Nübye Çölü'nde maden kazıyorlardı ve buralardan çıkan altınlarla hem firavunlar hem de mezarlar süsleniyordu. Ortadoğu'da bu denli büyük başka bir cevher yatağına rastlanmamıştır ki "nübye" sözcüğü de zaten Mısır dilindeki "altın ülkesi"nden gelir. MÖ 1. yüzyılda, Romalı Diodorus Siculus, anlatılarında, Mısır'daki madenlerde çalışmak kadar içler acısı bir iş olmadığını söyler:

> Bu son derece ağır bir iş yükünün olduğu madenlerden olağanüstü sayılarda insanın emekleriyle altın çıkarılmasından kalfalar sorumludur. Mısır kralları, azılı suçluları, savaş esirlerini, kimi zaman iftiraya uğrayanları ya da onları öfkelendirenleri ceza olarak bu madenlere gönderirler... Bu zavallı mahlukların bedenleri kimsenin umrunda değildir, dolayısıyla çıplaklıklarını örtecek bir paçavraları bile yoktur... Hastalansalar, yaralansalar ya



A– Plank. B—Side-boards. C—Iron wire. D—Handles.

Resim 3. Agricola'nın *De re Metallica*'sında, 16. yüzyılda altın arayanların tasviri.

da sakatlansalar dahi en ufak bir mola vermelerine izin verilmez... Bu ıstıraba daha fazla dayanamayan köleler en sonunda bu katlanılmaz işin ortasında yığılıp ölürler.

Altın cevherlerini çıkaranlar, Nibelunglar'ın mücevherlerini işleyen cüceler gibi, efsanevi yeraltı sakinleridir. Ama, hatırlarsak, Ren Altını ilk kez bir nehrin dibindeki ağır bir tortu yatağını andıran bir yerde bulunmuştur.

Ağır tortu yataklarından altın çıkarmak çok daha kolaydır: Bunu tek bir kişi bile yapabilir ki Amerika'daki bireysel Altına Hücum furyasının da itici gücü bu kolaylıktı. Ağır tortu yatakları yaygındırlar ve bilinen en eski altın eşyalar da buralardan elde edilen altınlardan yapılmıştır. Plinius MS 1. yüzyılda şöyle demişti: "Altın topraktan çıkar (...) tıpkı altın tozunun nehirlerde bulunması gibi (...) ki akıntı aşındırmasıyla tamamen cilalanmış bir halde olan bu türden altın en makbulüdür."

Şimdiye dek bulunan en büyük altın yatakları Güney Afrika'da Witwatersrand bölgesindedir. Buradaki muazzam ağır tortu yatağı yaklaşık 2,7 milyar yıl önce, tüm yaşamın hâlâ tek hücrelilerden ibaret olduğu bir evrede oluşmuştur (kimse bunun tam olarak nasıl gerçekleştiğini bilmiyor). Bugüne dek çıkarılan toplam altının yaklaşık %40'ından sorumlu Witwatersrand, dünyanın en büyük altın tedarikçisidir. Burası kolonyal güçlerin element savaşlarına sahne olmuş bir bölgedir: Altının yanı sıra Kimberly'deki elmasları oluşturan karbon savaşları da. Her ikisi de görece inert özdeklerdir ve yakın bir zamana dek de pek fazla pratik bir değerleri yoktu. Ne var ki, her ikisine de uğrunda ölünecek ve kıtanın tarihini şekillendirecek kadar büyük bir değer atfedildi.

Kafkasya, Ermenistan ve Karadeniz arasında kalan Kolkhis bölgesindeki alüvyon yataklarından Romalı Strabo'nun altının nasıl çıkarıldığını anlattığı kısma Agricola şöyle değinir:

> Kolkhisliler kaynak sularının döküldüğü havuza hayvan derileri gererlerdi; Kolkhisli şairler "altın post"

tabirini bu derilerin üzerinde biriken altın parçacıklarına istinaden kullanmışlardır.

İşte, İasos ve mürettebatı Argonotlar'ın peşine düştüğü büyülü post da buydu (Resim 4). Bu post uçan koç Khrysomallos'a ("altın koç") aitti ve Kolkhis'te bir bahçe içinde bir ejderha tarafından korunuyordu. Bu bir yönüyle klasik bir "macera" mitidir, fakat bir yandan da çok daha eskiye giden farklı hikâyelerin bir karışımıdır. Kutsal postun orijinali mor ya da siyah renkteydi ve kurban ayinlerinde kullanılırdı. Argonotlar'ın hikâyesine yedirilmesinin nedeni, Kolkhisliler'in Strabo'nun bahsettiği yöntemle topladıkları altınları bulmak umuduyla Karadeniz'e yelken açmaları olmuştu. Zaten efsaneler de aslında hep böyle pratik gerekçelerden doğmuştur.

Bugün kasalarda saklanan ve tedavüldeki altının çoğu, altın üretiminin tırmanışa geçtiği 19. yüzyıl ortalarından itibaren çıkarılanlardan oluşuyor. Altın yatakları dünyanın hemen her yerinde keşfedilirken, bu altına hücum furyasına pek çok kişi katıldı, fakat pek azı ciddi bir servete kavuştu. İlk büyük piyango Rusya'ya çıktı; önce 1820'de Ural Dağları'nda ve hemen ardından Sibirya'da keşfedildi. 1847 yılına gelindiğinde yıllık altın üretiminin neredeyse üçte ikisi Rusya çıkışlıydı; fakat bu durum 1848'de Johann Sutter'ın Kaliforniya'daki kereste fabrikasının yakınlarında altın bulunmasıyla değişti. Bir sonraki yıl binlerce "kırk-dokuzlu" zengin olmak için Batı'ya akın etti. 1851'de Avustralya'nın New South Wales bölgesinde altın bulununca, İngiliz hükümeti, artık bir fırsatlar ülkesine dönüşen bu bölgeyi suçlular için bir sürgün yeri olmaktan çıkardı.



A—Spring. B—Skin. C—Argonauts.

Resim 4. İason ve Argonotlar Altın Post'u keşfediyor. Efsanevi deri, muhtemeldir ki, nehir suyunda altın elemek için deri kullanmaya dayalı, Kolkhis menşeli uygulamadan türemiştir.

1890'da, Güney Afrika'da altın madenciliği, metali cevherden ayıran ve siyanürleme denilen bir yöntem sayesinde devasa bir ticarete dönüştü. İskoç kimyacı John Stewart MacArthur tarafından icat edilen bu yöntemde, çözünebilir bir altın bileşiği oluşturmak ve sonrasında çinko kullanılarak çökelmesini sağlamak üzere cevher ve

siyanür, su da kullanılarak bulamaç haline getirilir (MacArthur 1896 yılında patentinin geçersiz ilan edilmesine dek bu yöntemden kâr elde etmeye devam etti). Altın madenciliğinde siyanürleme yöntemi bugün hâlâ kullanılır. 16. yüzyılın başlarına dek çıkarılmış toplam altın yaklaşık sekiz metre küpken, 1908'e gelindiğinde bin metre küpe ulaşmıştı.

Dünyanın dış katmanında bulunan altın miktarı milyonda 2,5 birim oranında bile olsa muazzam ölçülerdedir. Ne var ki, bunun büyük bir kısmı hiçbir zaman çıkarılamayacak. Çıkarma işleminin ekonomik olabilmesi için metal konsantrasyonunun bunun binlerce katı olması gerekir. Bu koşullarda çıkarılabilecek çok az altın kaldığını söyleyebiliriz: Dünyada çıkarılabilecek altın rezervi yalnızca 15,000 ton ve her yıl 2,500 ton çıkarılmaya devam ediyor. Bu gidişle ulaşılabilir ne kadar altın varsa çıkarmış olacağız.

Bu değerli metalin bulunabileceği başka bir büyük rezerv daha var: Okyanuslar. Ne var ki, denizlerdeki altın oranı trilyonda on birimle, yerkabuğundakinden yüzlerce kat daha az. Yine de, bu, tüm Dünya'daki okyanuslarda toplam on milyon ton altın olduğu anlamına geliyor: Buna sahip olmak 1,500 trilyon dolarlık bir ödülü kapmak demek. Ne var ki, bu denli düşük konsantrasyonlardan kâr elde edebilmenin neredeyse imkânsız olduğunu düşünmek yerine, İasos'un mitik macerasının tehlikelerini göze almak bazılarının çok daha işine gelebilir. Alman kimyacı Fritz Haber de bunu yapabileceğine inanlardan biriydi ve bu sayede ülkesinin I. Dünya Savaşı sonrasında mahkûm edildiği tazminatları ödeyebileceğini umuyordu. Fakat Haber de altının ışıltılı büyüsüne kapılan pek çok kişiden yal-

nızca bir diğeriydi ve o nedenle denizlerdeki konsantrasyonunu olduğundan binlerce kat daha fazla zannediyordu.

Nadiren kullanılsa da yeni ve yaratıcı bir maden çıkarma yöntemi daha bulundu. Bu yöntemde, bizzat doğada bulunan minyatür madenciler kullanılacaktı: Kaya-yiyen bakteriler. Sıcak ortamları seven bir mikro organizma olan *Sulfolobus acidocalderius*, sülfür bileşiklerini metabolize eder. Sülfür elde etmek için piriti sindirebilir ve bu süreçte mineraldeki altını küçük zerreler halinde yoğunlaştırır. Avustralya'nın batısında, Youanmi yataklarından altın çıkarmak için bu "biyomineralleşme" sürecinden yararlanılır.

1998'de, Yeni Zelanda'dan bir grup araştırmacı, bir başka potansiyel biyolojik maden çıkarma tekniği uygulaması daha gösterdi. Bu yöntemde, altın bitki dokularında depolanıyordu. Zaten çeşitli bitkiler bunu yapabilir ancak bitki dokularında biriken altın o kadar azdır ki (yerkabuğundaki ortalama konsantrasyondan yalnızca dört kat fazla) bu metodu altın çıkarmak için kullanmak pek mantıklı olmayacaktır. Ancak, Palmerston North'da, Massey Üniversitesi'nden Robert Brooks ve meslektaşları, çabuk büyüyen ve metallerin hiperaküsü de denilen hardal yaprağının biriktirme gücünün normal bitkilerden yüz kat daha fazla olduğunu bulguladılar. Araştırmacılar, bu bitkiyi, içinde sentetik bir altın cevheri "modeli" bulunan ve altını çözünebilir hale getiren bir kimyasal da ekledikleri saksılarda yetiştirdiler. Bitkiler dokularında yaklaşık milyonda on yedi birim altın biriktirdiler ki bu da ekonomik açıdan uygulanabilir bir seçenek olmaya yetiyordu.

Agricola'nın *De re metallica*'sında madencilikten müthiş bir övgüyle söz edilir; sırf maden çıkarmak uğruna do-

ğanın tahrip edilişi, ağaçların kesilişi ve nehirlerin kirletilişi güle oynaya anlatılır. Peki, madencilik endüstrisi bu yağmacılığa bir son verse ve istediklerini hardal otu ekerek elde etse daha güzel olmaz mıydı?

Altın tarifleri

Antik çağlarda, uzmanlar, doğal altın asla saf halde bulunmadığı için, onu gümüş gibi saf olmayan bileşiklerinden ayırabilmek üzere muazzam bir metalurji becerisi sergilemek zorundaydılar. Bu becerilerin ilk ortaya çıktığı Mısır ve Mezopotamya'da metal işçiliği kutsaldı ve metalurji uzmanları çoğu zaman tapınaklara bağlı yerleşkelerde çalışırlardı. Babil tanrısı Marduk da "Altın Tanrısı"ydı.

Buna ek olarak, zanaatkârlar, altın ve gümüşü alaşımlayarak yapay elektrum yapımı için tarifler hazırlarlardı. Herhangi birinin altını bu şekilde seyreltmek *istemesi* kulağa garip gelebilir, ancak elektrumdan yapılmış kadehlerin zehirleri tespit edebildiklerine inanılırdı ve bu da onlara eşsiz bir değer katıyordu.

Gümüşü altından ayırmak, bu işin uzmanları dışında, başkaları için de önemliydi; bu beceri ticaretle uğraşanlar için de vazgeçilmezdi. Tacirler kazandıkları altının saf olup olmadığını anlamak için belli yollara ihtiyaç duyuyorlardı, çünkü altını gümüşle karıştırarak değerini düşürmek oldukça kolaydı. Muhtemelen, bilinen en eski ayrıştırma metodu küpelasyondu. Bu, en basitiyle, metalin kemik küllerinden elde edilen bir macundan yapılmış bir kapta erime noktasına gelene kadar pişirilmesi ve ardından saf olmayan öğelerin

kabın yan yüzeylerine massolmasına dayanan bir yöntemdi. Küpelasyon MÖ 2500'lere gelindiğinde de muhtemelen biliniyordu, ancak en erken uygulamalarda gümüşü altından değil, kurşundan ayırmak için kullanılıyordu.

Strabo (MÖ 63-MS 24) ayrıştırma işleminin nasıl tuz kullanılarak yapılabileceğinden bahseder ve MS 12. yüzyılda Benedikten rahibi Theophilus altını saf hale getirebilmek için sülfür kullanılabileceğini belirtir. Bu ikisi ve diğer yöntemleri geliştirenler, muhtemelen, saflaştırma ile altın yapma arasındaki ayrımı tam olarak bilmeyen simyacılardı. Hem Câbir bin Hayyan (bkz. s. 30) hem de 16. yüzyılın meşhur simyacılarından Basil Valentine (ki hayali biri olma ihtimali de var) saflaştırma yöntemlerini açıklar. Agricola, başka metallerle alaşımlı altını saflaştırma tariflerine pek çok sayfa ayırır; bunların da çoğu, Agricola'nın daha eski kaynaklardan hiç sorgulamadan kopyaladığı bir sürü gereksiz malzeme nedeniyle epey kafa karıştırıcıdır.

Roma İmparatorluğu'nun kudreti, üretim gücünden değil, sahip olduğu değerli metallerin muazzam miktarından geliyordu. Yurttaşlarının karnını kolonilerden ithal edilen tahıllarla beslemesi, süper bir gücün yalnızca altınla var olabileceğinin belki de ilk göstergesiydi. Roma'ya altınların çoğu İspanya'nın Rio Tinto bölgesinde yer alan ve en az iki bin yıldır faaliyette olan madenlerden geliyordu. Cevherler genellikle altın ile gümüş ve bakır karışımından oluşuyordu. Değerli metaller eriyik alaşımın eriyik kurşunla karıştırılmasıyla ayrıştırılabiliyordu: Altın ve gümüş kurşun içinde çözünebiliyordu, ancak bakır için aynı şey geçerli değildi. Daha sonra, kurşun alaşım küpelasyon yöntemiyle bileşik metallerine ayrıştırılıyordu.

Şu da var ki, ilk metalurji uzmanları tüm bu yapılanların bir element ayrıştırma işlemi olduğunun ayırdında değillerdi. Onların düşüncesine göre, tüm metaller temelde aynı maddelerden yapılmıştı (Câbir'in sülfür ve cıvası); aralarındaki tek fark tekamülleriydi – yani saflık dereceleri. Bunları kendi başlarına birer element olarak düşünmek yerine, en "çok karışmış" özdekler olarak addediliyorlardı; maddeyi oluşturan elementleri soruşturan doğa filozoflarının metallerden uzak durup daha "basit" malzemelerle deneyler yapmalarının da nedeni buydu. Metallerin birbirlerine benzer davranışlar sergilemeleri, onların kimyasal açıdan farklı olduklarının görülmelerine engel olmuştu.

Bunu göz önüne aldığımızda da, simyacıların baz metallerin altına dönüşebileceği iddialarına inanan kişileri naiflikle suçlamamak gerekir. Peki, simyacılar bunu hiç başarabildiler mi? Tabii ki! Metallerin neredeyse sırf görünüşlerine bakarak değerlendirildiği ve kimyasal ya da metalurjik uygulamalar sayesinde altının başka özdek karışımları içine saklanabildiği bir çağda, bir madde parçasından ışıldayan sarı metalin çıktığını görenler nasıl inanmasınlardı ki? Robert Boyle bizzat ilk elden bir simya "gösterimi" gözlemlediğini, altın yaratan bir dönüşüme şahit olduğunu anlatır (katılmakla ilgili çekincelerine karşın ve örtük bir şekilde de olsa). Gelgelelim, Boyle'un döneminde bu tarz açıklamalar epey yaygındı. 1679'da, Hollanda hükümeti Johann Becher'e Hollanda'nın kumlarından altın yapma talimatı vermiş ve Becher de hükümet görevlileri ve Amsterdam valisi önünde başarılı bir sunum gerçekleştirmişti. Hollanda komisyonunda Becher karşıtlarının muhalefeti (Becher'in iddiasına göre) bu işlemi daha geniş çaplı bi-

çimde uygulama planlarının önünü kesmiş, hatta canını kurtarmak için Hollanda'dan kaçmak zorunda kalmıştı.

Yapay altın elde etme arayışları asla bitmedi. İsveçli yazar August Strindberg 1894'te bunu başarabildiğine kendini inandırmıştı. Fakat bu vakanın gerçekdışılığı en azından kimyasal olarak kanıtlanabilir nitelikteydi, çünkü Strindberg'in "altını" altın renginde bir demir bileşiminden başka bir şey değildi ki bu da ahmak altını dediklerinden biriydi.

Simyanın hakiki ve soylu "Büyük Eseri" –baz metallerin altına dönüşmesi– eski zamanlarda pek çoklarına saygınlık ve zenginlik getirmiş olsa bile, 1941'e dek asla gerçek anlamda başarılamamıştır. Çünkü bunu yapabilmenin tek bir yolu vardır ve bu da kimyasal değil, nükleer bir tepkime gerektirir. Yani, atom çekirdeğine temel parçacıklar ekleyerek veya çıkararak metal atomlarının bizzat doğalarını değiştirmemiz gerekir. Amerikalı nükleer fizikçi Kenneth Bainbridge ve meslektaşı R. Sherr, nükleer bir reaktörde cıva atomları yüksek-enerjili nötron bombardımanına tutmak suretiyle bazı atom çekirdeklerinin çok küçük bir kısmını parçalara ayırmayı başararak bunları altına çevirmekte muvaffak oldu. Bu gibi nükleer kimyasal işlemlerden V. Bölüm'de daha fazla bahsedeceğim.

Metal para

"Paranın kıymetini ve neye hizmet ettiğini bilmez misin?" diye sorar Horatius ve şöyle der: "Onunla ekmek, sebze ve bir bardak da şarap alırsın." Ah, o günlerde her

şey ne kadar da basitmiş. Para elbette Horatius'un zamanında da paralı bir ordu ya da bir hainin hizmetleri gibi çok daha bayağı işler için de kullanılabilirdi. Fakat parayla satın alınabilen kişiler, ödemelerinin altınla yapılmasını talep ederlerdi. O zamanlar paranın bir ağırlığı vardı – bunlar birtakım kâğıt parçaları ya da İsviçre bankalarının bilgisayarlarındaki hesaplar gibi soyut bir kavram değil, değerli metallerden yapılmış, pırıl pırıl parlayan yuvarlak nesnelerdi.

Agricola, değerli metallerin açgözlülüğü ve ahlaksızlığı körüklediği suçlamalarına karşı, 16. yüzyılda para sisteminin getirdiği yararlardan bahseder:

> Bir dönem cahillerin ve şimdilerde de bazı uygarlıktan uzak barbar ırkların kullandığı takas sistemini zeki ve akıllı insanlar dikkatlice incelediklerinde, bunun ne kadar zor ve kullanışsız bir sistem olduğunu gördüler. Gerçekten de bundan daha faydalı bir icat olamazdı; bu sayede çok az miktarda bir altın veya gümüş, yükte çok daha ağır şeylerle aynı değerde oluvermişti. Artık insanlar para kullanarak bu tür şeylerin ticaretini aralarında büyük mesafeler olsa dahi çok daha kolay yapabiliyorlar ki bu da şimdilerde uygar yaşamın olmazsa olmazı haline geldi.

Diğer bir deyişle, altın, ticaret makinesinin yağıydı. Piyasaların işlemesini sağlıyordu. Takas, farklı ürünlere olan talep ve arzın zaman ve mekânda çakışmasına ihtiyaç duyan bir sistemdi. Oysa, para bu rastlantısal kesişim ihtiyacını ortadan kaldırmıştı, çünkü kendi değeri vardı ve fırıncının sabahları sütçüye sıcak ekmeğini satabilmesini

ve aldığı karşılıkla akşam bir hana gidip bira içebilmesini sağlıyordu. Altın da bunun için en ideal metaldi, çünkü çok az bir miktarı çok büyük bir değer taşıyabiliyordu: Yirmi ineğin değerini cüzdanınızda taşıyabiliyordunuz. Altın inert doğasıyla bir kez daha görevini mükemmel bir şekilde yerine getirmişti: Bir altın sikkesinin saflığı ve ışıltısı zamanla asla kaybolmuyordu.

Bilindiği kadarıyla, tarihte ilk sikke, MÖ 7. yüzyılda Küçük Asya'da bir Yunan site devleti olan Lidya'da basıldı. Bunlar saf altından değildiler; doğal gümüş alaşımı olan elektrumdan daire şeklinde yapılmışlar ve menşelerini belirtecek şekilde damgalanmışlardı. Kral Kroisos (Karun) Lidya'nın son kralıydı ve MÖ 546'da Persler tarafından tahtından indirilip esir alınana dek dillere destan bir servetin de sahibiydi. Lidya'nın altınlarının çoğu Paktolos Nehri'nin alüvyal yataklarından geliyordu ki Midas'ın ahmaklığının bir ödülü olduğu söylenirdi. Kroisos da elektrum sikkeleri saf altın ve gümüşle değiştirmişti. MÖ 5. yüzyılda Atinalılar değeri daha az olan bir üçüncü metal daha kullanmaya başladılar: Bakır ve kalay alaşımı olan bronz.

Romalılar, finansal güce dayalı bir kültürün nasıl değişken olabileceğini belki de ilk keşfedenler olmuştu. Tüm metalarda olduğu gibi altının da mutlak bir değeri yoktu ve değeri bulunurluğuna göre değişebiliyordu. Roma İmparatorluğu'nda altının değer ölçüsü aureus idi ve yirmi beş gümüş denarii'ye karşılık geliyordu. Ne var ki, daha sonra gelen imparatorlar servetlerini grotesk biçimlerde sergileme eğiliminde oldular – Neron, duvarları mücevherlerle kaplanmış bir Altın Ev inşa ettirmişti. Bu aşırı-

lıklar nedeniyle dolaşımdaki altın miktarı oldukça azaldığı için darphane çalışanları aureus ve denarius'a başka metaller de eklemek zorunda kalmışlardı. MS 3. yüzyıla gelindiğinde denarius'un %98'i bakır halini almıştı. Haliyle, bir tüccar da, aynı adı ve aynı damgayı taşısalar bile, saf gümüş karşılığında sattığı miktarı ağırlıklı olarak bakırdan yapılmış bir sikke karşılığında veremezdi.

Diğer bir deyişle, para birimi değer kaybına uğramıştı. Sikkelerin alım gücü düştükçe aynı oranda bir şeyin satın alınması için daha fazla sikke gereksinimi doğmuştu: Enflasyon yükselmişti. Ellerinde iyi kalite sikkeler olanlar bunları istiflemeye başlamış ve yalnızca alaşım sikkelerle ticaret yapar olmuşlardı. Bu durum, adını Londra menşeli Royal Exchange'in kurucularından Sir Thomas Gresham'dan alan ve Gresham Yasası olarak bilinen ekonomik ilkenin de ilk örneğiydi: "Kötü para iyi parayı kovar."

Krallar, kraliçeler ve imparatorlar, paranın istiflenmek için değil kullanılmak için var olduğu gerçeğini anlamakta hep zorlandılar. Ortaçağ boyunca hâkim olan görüşe göre, bir ulusun kudretini hazineleri belirlerdi ve 18. yüzyıla dek de hükümdarlar hazinelerini zenginleştirmek uğruna uzun ve anlamsız savaşlar çıkardılar. Ne var ki, John Maynard Keynes'e göre, ekonominin dirliği, paranın bir yerde toplanmasından ziyade dolaşımda olmasına –harcanmasına ve yeniden yatırılmasına– bağlıydı. Altın da, hakiki olsun olmasın, o kendine özgü edilgen ve inert doğasına rağmen, ancak dolaşımda olduğu zaman etkili bir para birimine dönüşüyordu.

Altın 19. yüzyılda paranın kontrol altına alınabilmesine yardımcı oldu. Peki, paranın değeri itibari hale geldi-

ğinde–kâğıt üzerine basılan veya ucuz metale damgalanan bir vaat– bir ulusun servetini çoğaltmak için daha fazla para basarak enflasyonu fırlatmasının önüne nasıl geçilecekti? Bunun yanıtı, kâğıt paranın değerini o ulusun altın rezervleriyle irtibatlandırmaktan geçiyordu. 1821'de İngiltere resmi olarak altın standardını getirdi. Amerikan Başkanı Herbert Hoover 1933'te (Agricola'nın metaller üzerine incelemesinin çevirmeni de olmanın şanına yakışır bir şekilde) şöyle demişti: "Neden mi altınımız var, çünkü hükümetlere güvenmiyoruz da ondan."

Altın standardını kabul eden ülkelerde bir bankaya giderek belli bir miktarda altını bozdurup karşılığında para alınabiliyordu. İngiltere'de 100 sterlinlik bir banknot karşılığında 22 ons altın alınabiliyordu. Aslında, İngiltere'de para birimi, Kraliyet Darphanesi'nin başında Sir Isaac Newton'un olduğu 1717'den beri bu şekildeydi.* Ne var ki, altın standardının uluslararası ticarette de temel alınabilmesi için diğer ülkelerin de para sistemlerini aynı şekilde altına bağlamaları gerekiyordu. Para biriminin tüm dünyada altın rezervlerine bağlanması ve standart bir uygulamaya dönüşmesi ancak 1870'lerde mümkün olabildi.

Ticaret bakımından dünyanın önde gelen uluslarının benimsediği altın standardı sayesinde artık uluslararası para piyasasının değerini belirleyecek müşterek bir yapı

* Newton "çift metalli" bir sistem geliştirmişti; bu sistemde paranın değeri belli bir ağırlıkta gümüşe göre belirleniyordu. Buradaki sorun ise altın ve gümüş harcamalarının arzın iniş çıkışlarına göre dalgalanmasıydı. Bu durumda, kârlı çıkmak için gümüş alıp altın karşılığı satmak ya da bunun tam tersini yapmak gerekiyordu.

oluşturulabilmişti. Bu da mübadele kurunu sabitlemişti: Bir sterlin 113,0016 granül altın ve bir ABD doları da 23,22 granül altın ediyordu ve sterlinin sabit mübadele değeri 4,86 dolardı. Nobel Ekonomi Ödülü sahibi Robert Mundell şöyle demişti: "Para birimleri yalnızca belli miktarlardaki altını ifade eden adlardı." Bu da Londra'da dolar, New York'ta frank kullanabilmenizin bir teminatıydı.

Ne var ki, para birimlerinin değerlerini bu şekilde sabitlemenin de haliyle bazı mahsurları vardı. Daha yoksul ülkelerin ekonomik kaderleri, dünyanın diğer ucundaki zengin ülkelere göre şekillenmeye başlamıştı. Derler ki, "Londra hapşırırsa, Arjantin zatürreye yakalanır". 1873'te Londra hapşırdığında, bunun bedelini ABD ekonomisi İngiliz yatırımcılara olan güven kaybı nedeniyle çıkan bir krizle ödedi. 1890'larda aynı durum yeniden yaşandı. 1896'da Halk Partisi şunu ileri sürdü: "'Mevcut altın standardı'nın devam etmesi şu anlamlara gelir: Yıkım, Öfke, İsyan, Borç, Suç, Grevler, İşsizlik, Yoksulluk, İpotekler..." Ve daha nice sefillik. Gerçekten de ufukta onları çok daha zor zamanlar bekliyordu.

I. Dünya Savaşı'nın travmaları uluslararası para sistemini sarsmıştı; ardından gelen Büyük Buhran ise neredeyse yıkılma noktasına getirmişti. Sonuç ise toplumsal kargaşa ve aşırılıkçı hareketlerin tırmanışı oldu. 1931'de artık İngiltere'nin canına tak etti ve altın standardını terk etti – bu gelişme "altın barbarlığın bir kalıntısıdır" diye haykıran John Maynard Keynes'i de memnun etmişti. Keynes, aynı zamanda, 1944'te, New Hampshire'da dünya finans sisteminin yeniden tasarlandığı ve uluslararası para piyasalarının dolar standardına bağlandığı Bretton Woods

Konferansı'nda hazırlanan tasarının en önemli mimarlarındandı; burada, uluslararası para birimleri etkili bir şekilde dolar standardına endekslenmişti. Dolar, talep halinde altına çevrilebilen tek para birimine dönüştü – fakat bir tek hazine ve bankalar yapabiliyordu bunu, şahıslar değil. Bu altın endeksi II. Dünya Savaşı'nın ardından cazip hale gelmişti; ne var ki, ulusal ekonomilerin göreli güçlerinde daha sonra ortaya çıkacak değişikliklere direnç gösterebilecek kadar iyi bir tasarı da değildi. Başkan Richard Nixon nihayet 1971'de bundan vazgeçti. O günden sonra da hiçbir para biriminin değeri altın rezervlerine göre belirlenmedi; öyle ki, artık uluslararası döviz kurları "dalgalıdır" ve hiçbir hükümet de para birimini parlak altına değişmeyi teklif etmez.

Buna karşın, hükümetler ticaret ve para birimini altına bağlama fikrini zaman zaman yeniden gündeme getirmişlerdir – Charles de Gaulle de 1961'de bu fikri şiddetle savunmuştu. Gelgelelim, artık pek o kadar gerçekçi bir seçenek değil bu. Altın standardı olmadığı zaman döviz kurlarında öngörülemeyen dalgalanmalar elbette oluyor, ancak altın vasıtasıyla istikrar sağlama girişimi, bu metalin hareketsiz ağırlığı nedeniyle, ekonominin her an kontrolden çıkması tehlikesini de barındırıyor.

Likit altın

MS 3. Yüzyılda, Romalı İmparator Diocletianus, enflasyonun başka bir kaynağı olabileceğinden endişelenmeye başladı. Diocletianus, simyacıların piyasaya işlen-

miş altın sürerek kendi para birimini zayıflattıklarından şüphelendiği için, çok kıymetli bir yığın simya belgesinin yok edilmesi emrini verdi. Oysa, hakiki ustalar asla maddi çıkar gibi bayağı bir amaç peşinde koşmazdı. Çinli simyacıların en meşhurlarından Ko Hung (MS 260-340) şöyle demişti: "Hakiki İnsan, zengin olmak için altın yapmaya çalışmaz, o, altını bir sağaltıcı olarak kullanarak Ölümsüz olmayı arzular."

Çin simyasını metalurjik temelli Arap ve Batı geleneklerinden ayıran da bu tıbbi yöndü – en azından 16. yüzyılda Paracelsus'un zamanına dek böyleydi. Çinli simyacılar altının Yaşam İksiri'nin, ki Doğu'daki Felsefe Taşının eşdeğeriydi bu, anahtarı olduğuna inanıyorlardı. Yaşam İksiri de tıpkı Felsefe Taşı gibi baz metalleri altına dönüştürebiliyordu; ustalık becerilerine sahip Ma Hsiang, dediklerine göre, içtiği şarabın parasını ödemek için İksiri kullanarak handaki demir kazanları dönüştürürmüş. Öte yandan, bu İksir, salt altının ömrünü uzatmakla kalmıyor, aynı zamanda kişiyi ölümsüz yapabiliyor ve ölüleri de diriltebiliyordu. Hatta yalnızca altın tabak ve bardak kullanmak bile bu nesnelerin ölümsüzlüğünden bir parça verebiliyordu. Bu gelenek daha sonra Hindistan'a kadar yayıldı ve altınla arınma ayinlerini etkisi altına aldı.

Peki, Yaşam İksiri tam olarak neydi? Bir sürü tarif var. En eskilerinde ise altından ziyade kırmızı mineral cıva sülfür olan zincifrenin ön planda olduğu görülüyor. Çin'de altın yatakları oldukça nadirdir ve MÖ 4. yüzyıla dek simya veya klasik Çin edebiyatında bu metalden açık açık bahsedilmez. Ne var ki, daha sonra en etkili ve tesirli ilaçları bulmaya çalışan simyacılar, bu sarı metali doğru-

dan içmek gibi bir saplantı geliştirdiler. Buna ek olarak, simya sanatıyla elde edilmiş altının topraktan çıkandan çok daha makbul olduğuna da inanılıyordu: Ko Hung, "Dönüştürme yoluyla elde edilen altın, pek çok farklı malzemenin özünü barındırmasıyla, doğal altından çok daha üstündür," demişti.

Bu gelenek Batı'ya, içildiği takdirde tüm hastalıklara deva olan bir ilaç olarak "içilebilir altın" (*aurum potabile*) adıyla girdi. Bu mükemmel bir mit örneğiydi, çünkü altın suda çözünemez ve ancak 1000 °C üzerinde bir sıcaklıkta eriyebilir. Gerçi Ortaçağ simyacılarının altını yutabilen ve böylelikle meziyetlerini özümseyebilecek son derece güçlü bir "su" tarifleri vardı. Bu tarife, 1310'da İspanyol bir simyacının yazdığı ve metinlerin kaynağının Câbir bin Hayyan olarak gösterildiği bir kitapta rastlanır. Bu "çözündürücü suyun" malzemeleri, "Kıbrıs vitriyolü", güherçile (potasyum nitrat), "Jamenous Allom" (şap) ve nişadır (amonyum klorür) idi ve *aqua regia*, yani suların kralı olarak nam saldı.

Aqua regia temelde nitrik ve hidroklorik asitlerin bir karışımıdır (Câbir'in tarifinde de sülfürik asit vardı) ve altını aşındırabilecek kadar güçlü olan az sayıdaki kimyasal ayırıcılardan biridir. Metal, her bir altın atomunun dört klorür iyonuyla birleşmesinden meydana gelen bir "kompleks" oluşturur; bu kompleks de suda çözünebilir. *Aqua regia* muamelesi gören "ölümsüz" altının ortadan kaybolduğunu görmek simyacılar için mucizevi bir deneyim olmalıydı.

İster altın barındırsın ister barındırmasın, hiç kuşkusuz, derişik nitrik ve hidroklorik asitlerin bir karışımı tıbbi bir amaçla kullanılamaz. Öte yandan, asitler, çözünebilir

altınlarını kaybetmeksizin, biberiye yağı kullanılarak seyreltilebilirlerdi ve bunun sonucunda ortaya işte o meşhur *aurum potabile* iksiri çıktı. Bu da pek çok reçeteden yalnızca bir tanesidir; başka kaynaklarda aynı iksirin yapımı için, örneğin sıcak altına veya cıvayla alaşımlı altına alkol (şaraptan damıtılan), sirke veya idrar dökmek gibi talimatlar vardı. Agricola'nın da açıkladığı gibi, madenciler altını gümüşten ayırmak için *aqua regia* kullanmışlardı – gerçi bu tamamen rastlantısaldı, çünkü asitler üzerine bilgi edinilebilmesi için çok uzun bir zaman geçmesi gerekecekti.

Cam ustaları da en görkemli yakut kırmızısı camları yapmak için "çözünebilir altın"ı kullanabileceklerini keşfettiler. Çözeltiye kalay bir bileşik eklendiğinde, sıvı koyu mor bir renk alıyordu. Bu işlemle ilgili ilk açıklama 1685 yılında Potsdamlı bir cam ustası olan Andreas Cassius'tan geldi ve bu renkli madde daha sonraları Cassius Moru olarak anılmaya başladı. "Sıvı altın"ın yakut rengi cama katılması sanatı 17. yüzyılın sonlarına doğru Alman cam ustası Johann Kunckel'e atfedildi.

Çözünebilir altının mor bir sıvıya dönüşmesi simyacılar için hiç kuşkusuz daha da harika bir olaydı. Mor uğurlu bir renkti – krallığı temsilen Roma İmparatorluğu'nun rengiydi, hatta bazı kaynaklara göre Felsefe Taşı da bu renkti. Türkler 1453'te İstanbul'u fethettiğinde Batı o meşhur Tire moru tarifini nasıl yitirdiyse, Romalıların cama yakut kırmızısı renk verme sırları da unutulup gitmişti. Bugün Londra'da, British Museum'da bulunan ve MÖ 4. yüzyıla ait olan Lykurgos Kadehi, altınla renklendirilmiş camdan yapılmıştır. Kadeh yansıyan ışık altındayken yeşil, iletilmiş ışıkta ise kırmızı gibi görünür.

Cassius Morunu sırf cam ustaları değil, kaliteli bir kırmızı sır yapmak isteyen porselen üreticileri de kullanmıştır. Sarı renkli altından nasıl olup da kırmızı bir renk elde edilebildiği ise neredeyse iki yüz yıl boyunca bir muamma olarak kaldı. Yakut tonunun kaynağı aslında altın parçacıklarının çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olmalarıdır. Çözelti altın kompleksi kalayla muamele edildiğinde altın tekrar metalik formuna kavuşur; ne var ki, bu kez bir topak gibi çökelmek yerine, atomlar bir milimetrenin birkaç yüz milyonda biri (nanometre) üzerinde kümelenirler. Bu denli küçük parçacıkların bu şekilde suda dağılımına sol denir ve bu da bir *kolloid* örneğidir: Bir başka özdek içinde bulunan bir özdeğin mikroskobik parçacıklarının bir karışımı. Kolloidler İskoç kimyacı Thomas Graham tarafından 1860'larda, yine bir kolloid olan ve Yunanca'da tutkal anlamına gelen *kolla* sözcüğüne dayanarak adlandırıldı.

Bir başka kolloid de suda dağılmış mikroskobik yağ yuvarlarından oluşan süttür. Kolloidal parçacıklar görünebilir ışığın dalga boylarıyla neredeyse aynı büyüklükte oldukları için, ışığı yayma güçleri de yüksektir. Süt de tüm dalga boylarını yaydığı için beyaz bir renk verir. Kolloidal altın daha çok mavi ve yeşil ışık yayarken, yalnızca kırmızıyı iletir. 19. yüzyılın ortalarında, İrlandalı fizikçi John Tyndall, kolloidlerin bu ışık yayma eğilimlerine bir açıklık getirmişti. Yaklaşık aynı zamanda, Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nden Tyndall'ın bir meslektaşı olan Michael Faraday, morumsu bir kırmızılıktaki sıvıya çok az miktarda tuz eklediği zaman maviye dönüştüğünü gördü. Tuz, altın parçacıklarının biraz daha büyük yumrular halinde küme-

lenmelerine neden oluyordu ki bu da mavi rengi iletirken kırmızı ışığı yaymaya yetecek bir büyüklüktü.

Kolloidal altındaki minik parçacıkların ilk kez görülebilmesi, 20. yüzyılın başlarında Avusturyalı kimyacı Richard Adolf Zsigmondy'nin icat ettiği, çok çok küçük nesneleri ayırt edebilen bir aygıt olan ultramikroskopla mümkün olabildi. Zsigmondy, kolloidlerin doğalarını aydınlattığı için 1925 yılında Nobel Kimya Ödülü'ne layık görüldü.

Bu kırmızı sıvının dünyanın en değerli metalini barındırabileceği kimin aklına gelirdi ki? Almanya 1940 yılında Danimarka'yı işgal ettiğinde, Danimarkalı fizikçi Niels Bohr tam da buna güveniyordu. Savaş çıkınca, Alman fizikçi Max von Laue ve James Franck, pek kıymetli altın Nobel Ödülü madalyalarını saklaması için Bohr'a emanet ettiler. Almanya'nın savaşı finanse etmek için altına ihtiyacı vardı ve o dönem altın ihracatı ceza gerektiren bir suçtu. Madalyaların üzerinde kazananların adları yazıyordu ve Bohr madalyaları işgal altındaki bölgelerden geçirmeye kalkarsa sahiplerinin suçlu duruma düşme riski vardı.

Bohr'un meslektaşı, Macar kimyacı George (György) de Hevesy, altınların Almanların eline geçmemesi için bir plan yaptı. De Hevesy, madalyaları asit içinde çözündürdü ve simsiyah renkte kolloidal bir sol elde etti. Sıvıyı etiketsiz kavanozlara doldurup laboratuvarda bir rafa yerleştirdi ve kimse de bunların içinde ne olduğunu merak etmedi. Savaş bitince altını kurtardı (yapması gereken tek şey solü ısıtmaktı) ve tekrar madalya kalıplarına döküp sahiplerine iade etti.

Altın o muhteşem kariyerini inert doğasına borçludur: Tepkimeye karşı büyük bir direnç gösterir. Aslında kimyasal bakımdan bakırla benzeşir ancak bakır rüzgâr ve yağmurla bile kolaylıkla aşınabilir. O halde, altını özel kılan ne? Bunun yanıtı şaşırtıcı derecede zordur ki bütünüyle kavranması da ancak son dönemlerde mümkün olabilmiştir.

Yüzey atomları havadaki gazsı özdeklerle tepkimeye girdiklerinde metaller matlaşırlar. Bir önceki bölümde de gördüğümüz üzere, oksijen oldukça reaktif bir elementtir ve demirle birleştiğinde pas olarak bildiğimiz kızıl oksit bileşiği oluşturur. Bakır, oksijen ve karbondioksitle tepkimeye girdiğinde ise yeşil bir pas oluşturan bakır karbonat meydana gelir. Gümüş oksijenin bu hamlelerine direnir, ancak yavaş yavaş havadaki sülfür bileşikleriyle birleşir ve sonunda da siyah gümüş sülfür oluşur.

Altında bunların hiçbiri olmaz. Gene de bütünüyle tepkisiz bir element de değildir: alaşım olarak diğer metallerle birleşebilir ve tek tek altın atomları çeşitli elementlere sıkı bir şekilde bağlanabilir. Ne var ki, altın metalinin yüzeyi inert yapıdadır ve bu durum da elektronlarının dağılım şeklinden kaynaklanır.

Kimyasal bağlar atomlar arasındaki elektronların paylaşımının bir sonucudur: Elektronlar çiftler halinde takımlar oluşturur (bkz. s. 123). Öte yandan, elektronların eşleşmesi de her zaman atomları bir araya getirmez. Elektron ikililerinin bazıları, bir partiye katılan farklı çiftler gibidir: Bazıları atomların cana yakınlıklarına kapılırken, bazıla-

rı aksi davranışlar sergilerler. İkinci tiptekilere bağ-önler çiftler denir ve atomların birbirlerini itmelerine neden olurlar. Elektronlar, eğer mümkünse, bağ çiftleri oluşturmak için eşleşirler; ancak sayıları çoksa, bağ-önler çiftler de oluşturacaklardır. Şayet bağ-önler çiftlerin sayısı bağ çiftlerinkine eşit olursa, atomlar da bir arada kalma eğiliminde olmayacaklardır.

Altının yüzeyine tutunmaya çalışan bir atom veya bir molekül, altın atomlarının elektronlarının hem bağ-önler, hem de bağ çiftleri oluşturmak üzere dağıldıklarını görecektir. 1995 yılında, Lyngby'deki Danimarka Teknik Üniversitesi'nden Jens Nørskov ve B. Hammer, bunu, altın ve çeşitli başka metallerin yüzeylerindeki elektron enerji durumlarını bulgulamak için yaptıkları oldukça ince hesaplamalar esnasında keşfetmişlerdir. Hem bakırın hem de altının yüzeyleri yabancı atomlarla bağ-önler bir ilişki kurma eğilimindedir ve bu atomlar da en nihayetinde metallerle bağ oluşturmak yerine bir arada kalmayı tercih ederler. Bakır da inert sayılabilir – madeni para yapımında bakır alaşımların iyi bir tercih olmasının nedenlerinden biri de bu tepkime yavaşlığıdır. Fakat altın çok daha "soylu"dur ve diğer daha aşağı metaller zamanın gücüne yenilip matlaştıklarında bile o ışıl ışıl parlamaya devam eder.

Eğer tüm bunlardan çıkarabileceğimiz bir ders varsa, o da en eski ve en çok bildiğimizi sandığımız elementlere dair hiçbir şeyin apaçık olmadığıdır. Antik Mısır'ın başrahipleri altının ne denli özel olduğunu çok iyi biliyorlardı; biz ise bunun nedenini ancak altı bin yıl sonra kavrayabildik.

IV. Bölüm

SEKİZ AŞAMALI YOL: ELEMENTLERİN DÜZENLENMESİ

Vakti zamanında, bir yaz günü, niyobyum üzerine bir yazı yazmıştım. O dönem, bir yandan kimya finallerime çalışırken, beri yandan bu pek de tanınmayan elementle ilgili epey bir sayfa doldurmuş olmam beni bayağı şaşırtıyor doğrusu. Hakkında bu kadar konuşacak ne bulmuştum acaba?

Gene de bu o kadar garip olmayabilir. Maddenin yapıtaşlarını toplu bir sınıf fotoğrafı gibi bir araya getiren Periyodik Tablo'da, uranyum dahil doksan iki elementin her birinin tuhaf yönlerini ve zaaflarını ezberleyebilmem elbette imkânsızdı. Ancak, yalnızca bu tablodaki konumuna baktığımda bile, niyobyuma dair birkaç ufak tefek bilgim hemen gün yüzüne çıkabiliyor.

Örneğin, niyobyumun tek seferde beş atomla kimyasal bağlar kurma eğilimindeyken çok azını tolere edebildiğini ve çoğunu da ittiğini söyleyebiliyorum. Niyobyum, yumuşak sayılabilecek bir metal ve demirden ağırken, kurşun-

dan daha hafif. Bileşiklerinin çoğu da –diğer elementlerle kombinasyonları– renklidir. Diğer niyobyum atomlarıyla da bağ oluşturmaya yatkındır – buna metal-metal bağları denir. Kimyasal davranışı vanadyum elementine yakın olmakla birlikte daha ziyade tantala benzer.

Bu kısa paragrafın bana umduğum kadar iyi bir not kazandıracağını sanmıyorum ne yazık ki ama hiç yoktan iyidir. Öte yandan, az önce bahsettiklerimin de kaynağı, bizzat niyobyuma dair bildiklerim değil; tüm bunları söyleyebilmem için bu elementin Periyodik Tablo'da nerede durduğuna bakmam ve bu esnada tablonun genel özelliklerini ve yönelimlerini de göz önüne almam yeterli. Bu tablo, salt elementleri yekpare bir format içine almak için yapılmış bir düzenlemeden ibaret değildir; her bir elementin nasıl göründüğü, nasıl davrandığı gibi bilgiler içeren bir tür kodlamadır da.

Rus bilim insanı Dimitri İvanoviç Mendeleyev Periyodik Tablo'yu 1869'da oluşturduğu zaman bu tabloyu tümdengelimin çok daha etkileyici marifetlerini sergilemek için de kullanmıştır. Henüz keşfedilmemiş elementlerin varlığını öngörebilmiştir, hem de yanılmadan: Salt varlıklarını da değil, nasıl davrandıklarını, yoğunluklarını ve erime noktalarını da çıkarsamıştır.

Bu bilgilerin Periyodik Tablo'da neden ve nasıl şifrelendiğini anlamak için öncelikle element dediğimizde neyi kastettiğimizi belirlememiz gerekir – ki geç bile kaldığımı da söyleyebilirsiniz tabii. Aslında, Lavoisier gayet geçerli bir tanım yapmış: Eğer bir özdeği açık bir biçimde daha temel yapıtaşlarına ayıramıyorsanız, bu büyük bir ihtimalle bir elementtir. Ne var ki, bu tanımlama, sizin ne kadar

iyi bir kimyacı olduğunuza ya da en nihayetinde güncel kimya teknolojinizin imkânlarına bağlıdır ki bu da yeterli olmayabilir.

Örneğin, Lavoisier "kireç" ve "magnezya" gibi maddeleri de element olarak listelemiştir. Oysa, bunların hiçbiri element değil: Bir kalsiyum ve oksijen bileşiği olan kireç kalsiyum oksittir ve magnezya da magnezyum oksit. Magnezyum ve kalsiyumu ilk kez İngiliz kimyacı Humphry Davy 1808'de elektroliz tekniğini kullanarak –bileşikleri elektrikle parçalamak– aşağı yukarı saf formlarına ayırmayı başarabilmiştir. Lavoisier'nin uygulayabileceği kimyasal tepkimeler, oksijene aşırı düşkün metalleri ondan ayırmaya yetecek kapasitede değillerdi, ancak elektrik bu işi görmeye yetmişti. Davy ayrıca 1807'de yine bu yöntemi kullanarak sodyum ve potasyum elementlerini buldu.*

O halde, bugünün elementlerinin hâlâ ayrıştırılmayı bekleyen son derece içe kapanık bileşikler olmadıklarını nasıl bilebiliriz? Ve bu doğrultuda bakarsak, madem elementler temel ve indirgenemez özdekler olmalı, o zaman 1941'de cıvadan nasıl altın yapıldı (bkz. s. 80) ya da 12 Eylül 1933 tarihli *The Times* şu sarsıcı keşif haberini hangi gerekçeyle verebildi? "Elementlerin Dönüşümü".

Artık atomu parçalamanın vakti geldi.

* İngiliz yazar Edmund Clerihew Bentley, bu buluşu, bir kimya dersinde yazdığı söylenen mizahi bir dörtlükle ölümsüzleştirmiştir. (Sodyumla kafiyeli olsun diye seçilen *Odium* aşırı nefret anlamına gelir, ç.n.)

Bay Humphrey Davy
Et suyundan tiksinirdi.
Sodyumu keşfedince
Gitti Odium'a yerleşti.

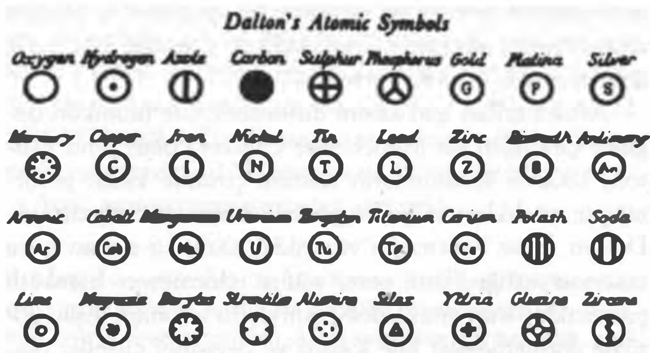
Aristoteles atomların varlığına istediği kadar kuşkuyla yaklaşabilirdi; en nihayetinde, görüşleri aleyhte ya da lehte bile olsa, bu tür iddiaların hepsi de felsefidir. Hatta aynı durum 19. yüzyılın sonlarında Aristoteles'in görüşlerini paylaşan bazı seçkin bilim insanları için bile söylenebilir. 1909'da Nobel Ödülü'nü kazanan Alman fizik kimyacısı Wilhelm Ostwald, atomculuğun salt makul görünen bir hipotezden ibaret olduğuna ve tam olarak gerçeği yansıtmadığına inanmış birçok bilim insanının tipik örneklerinden biridir.

Bu durum, 1908'de, Fransız fizikçi Jean Perrin'in suda asılı küçük zerreciklerin dans eder gibi hareket ettiklerini gösterdiğinde değişti, çünkü bu durum Albert Einstein'ın bu zerreciklere tespit edilemeyecek kadar küçük parçacıkların çarptığı fikriyle de uyuşuyordu: Hidrojen ve oksijen atomlarından oluşan su molekülleri. Ostwald bile artık ikna olmuştu: Atomlar gerçekti.

Artık bazıları için aksini düşünmek bile mümkün değildi. Çekingen bir Manchester Quaker'ı olan John Dalton, 1800'de işi atomların resmini çizmeye kadar götürmüştü; varlıklarına kesin gözüyle bakmak cezbediciydi. Dalton, Isaac Newton'ın yüz yıldan fazla bir zaman önce tasavvur ettiği "katı, sert, nüfuz edilemeyen hareketli parçacıklar"ına sonuna dek inanıyordu ve onları insan gözüyle görülemeseler bile sonsuz ve değişmez cisimler olarak tahayyül ediyordu. Dalton, bu yaklaşımı ile Demokritos'unki arasındaki akrabalığa istinaden Yunan filozofun terimini ödünç almayı uygun gördü ve *atomos* "atom"a

dönüştü. Yaptığı çizimlerde, üzerlerinde noktalar, çizgiler, gölgelendirmeler veya başka semboller olan dairesel parçacıklar ve sabit oranlarda biraraya gelerek "bileşik parçacıklar" (bunlara artık molekül diyoruz) oluşturan farklı elementleri ayırmak için de başka semboller tasvir edilmişti (Resim 5).

Bu atomlar neden yapılmışlardı? Dalton ne bunun yanıtını biliyordu ne de bu sorunun özel bir önemi olduğunu düşünüyordu. Asıl mesele atomların *ağırlıklarıydı* ki varsayımına göre aynı elemente ait atomlar eşit ağırlıktaydı, farklı elementlerin de atomları farklı ağırlıktaydı tabii. Örneğin, hidrojen kendisinin sekiz katı ağırlığındaki oksijenle birleştiğinde su oluştuğu biliniyordu. Dalton da sudaki her bir oksijen atomunun tek bir hidrojen atomuyla birleştiğini varsaydığından, bu durum, oksijen atomunun



Resim 5. John Dalton'un atomları gösteren bu şeması, onların küçük, yoğun ve küre şeklinde parçacıklar olduğu görüşünün önünü açmıştı.

ağırlığının hidrojen karşısında 8 değerde olacağına işaret ediyordu.

Hidrojen en hafif element olduğu için, diğer elementlerin *bağıl* atom ağırlıklarının ölçümünde kullanışlı bir birim görevi görür. Ancak, ne yazık ki, Dalton'un kafasındaki su molekülü yanlıştı, çünkü su, *iki* hidrojen atomunun tek bir oksijen atomuyla birleşmesinden oluşur. Bu da oksijenin gerçek bağıl atom ağırlığının 16 olduğu anlamına gelir. Bu tür hatalar da Dalton'un atom ağırlıkları listesinin doğrularla yanlışların bir karışımı olduğunu gösteriyor. Ama bu o kadar da önemli değildi; nasılsa ileride daha dikkatli analitik kimyacılar tüm bu hataları düzeltecekti. (En dikkatlilerinden biri de 1818'e gelindiğinde o dönem bilinen kırk dokuz elementten kırk beşinin atom ağırlığını çıkarsama yoluyla belirleyen İsveçli kimyacı Jöns Jacob Berzelius'tu.) Asıl önemlisi, atom fikrine somut bir ifade getirilmiş ve bu da kimyacıların maddenin yapısına dair yaptıkları analizlerin anlaşılmasını kolaylaştırmıştı.

Özet olarak, Dalton'un atom kuramı kimyanın pozitif bir bilime dönüşmesini sağlamıştı. Kimyasal süreçlerin sayısal olarak kesin ölçümlerinin yapılabilmesinin ne denli önemli olduğunu Cavendish, Priestley, Lavoisier ve çağdaşları da gayet iyi biliyordu; ancak temel bir element kuramı olmaksızın bu sayılar yalnızca ampirik gözlemlerin kodlamasından ibaretti. Bunlar, daha ziyade, bir nehrin derinliğini gösteren veya bir karınca kolonisinin sayısını ifade eden ölçümlere benziyorlardı – sistemin temel yapısına dair hiçbir şey açıklamıyorlardı. Lavoisier'ye göre, maddenin görünmez parçacıklarına dair sorular kimyanın amaçlarıyla ilgili değildi.

Ancak atomlar eğer "bileşik parçacıklar" oluşturmak için hep aynı basit oranlarda birleşen küçük toplardıysa, elementler arasındaki kimyasal tepkimelerin de her zaman sabit ve basit oranlarda meydana gelmesi bu durumla açıklanabilirdi. Mesele, örneğin, şöyle bir şeydi: Kalsinasyon esnasında belli bir kütledeki cıvanın her zaman bir diğer sabit kütledeki oksijenle birleşmesinin nedeni neydi? Fransız kimyacı Louis Joseph Proust bu ilkeyi 1788'de Sabit Oranlar Yasası'yla tasdikledi. Tabii herkes hemfikir olmamıştı – o günlerde kimyasal analiz metotları mükemmel olmaktan çok uzaktı ve dolayısıyla belli bir bileşikteki her bir elementin bağıl miktarları bir deneyden diğerine değişkenlik gösterebiliyordu.

Dalton kendi atom kuramını *Yeni Bir Kimya Felsefesi Sistemi* kitabıyla ortaya koydu; kitabın ilk ve en can alıcı kısmı 1808'de yayımlandı. Çizdiği atom ve molekül resimleri kimyanın mikro-dünyası ile makro-dünyasının bir buluşması gibiydi: Aynı anda hem gözlemlenebilir olanı (örneğin, su oluşturmak için hidrojen ve oksijenin birleşmesi) hem de göze görünmeyeni betimliyordu. Kimya tarihçisi William Brock, Dalton'un sembolleri için şöyle der: "İnsanları kimyasal atomun gerçekliğine inanmaları için teşvik ettiler ve kimyacıların nispeten karmaşık kimyasal tepkimeleri gözlerinde canlandırmalarına olanak sağladılar... Tüm bunlara ek olarak, Lavoisier ve Dalton, kimyanın dilinde bir devrim gerçekleştirdiler."

Maalesef işler o kadar basit değildi. İlkin bu hiyeroglif gibi görünen semboller dizgiciler için büyük bir sıkıntıydı; öyle ki, Berzelius (1779-1848) birkaç yıl sonra bunların alfabetik simgelerle değiştirilmesi önerisini getirdiğinde

rahat bir nefes almış olmalılar. Berzelius gayet akılcı davranarak her bir elementin kendi adının ilk harfiyle temsil edilebileceğini ve eğer bazılarını ayırmak için bu yöntem yeterli olmazsa iki harfle gösterilebileceklerini teklif etti. Bu mantığa göre, hidrojen H, oksijen O, karbon (*carbon*) C oldu. Kobalt (*cobalt*) Co olarak belirlenerek karbondan ayrıldı. Bu sembolün ilk olarak bakıra (*copper*) verilmesi gerektiği düşünülebilir ama Berzelius eğer bir elementin Latincesi varsa bunun kullanılması taraftarıydı. Dolayısıyla, bakır Cu (*cuprum*), altın Au (*aurum*) ve demir de Fe (*ferrum*) oldu.

Berzelius, şayet elementler bileşik oluştururken bire bir oranında atomlar dışındakilerle birleşirlerse, çokluğun üslü sayılarla ifade edilmesini önermişti; daha sonra bu durum altlı sayı olarak değiştirildi. Buna göre, sudaki hidrojen ve oksijenin ikiye bir olan oranı H_2O şeklinde belirtildi.

Kimyanın dili de işte budur – elementleri ve kombinasyonlarını gösterme biçimi. Bu, Dalton'un şemasından çok daha anlaşılırdır. Tabii Dalton muhtemelen aynı fikri paylaşmamış olacak ki, "Berzelius'un sembolleri korkunçlar," demiş ve bu ifade biçimine dair şu kaygılarını dile getirmiş: "Atom Kuramı'nın güzelliğini ve sadeliğini gölgelediği gibi, bilimsel uzmanlığın içini boşaltıyor ve öğrenmek isteyenin de şevkini kırıyor."

Hakkı da yok değildi. Dalton'un atom sembolleri fazlasıyla şematik olabilir, ancak okura küçük ve top şeklinde parçacıklardan bahsedildiğini hatırlatan görsel bir izlenim sunuyordu. Berzelius'un sembollerinde ise bu anımsatıcı etkilerin hiçbiri yoktu. 19. yüzyıl kimyacılarının çoğu, araştırdıkları bileşiklerin *kimyasal formül*lerini –C_6H_6 (ben-

zin) ya da C_6H_6O (dimetil eter) gibi ibareler– maddenin atom yapısının bir temsili olarak değil, element analiz sonuçlarını kısaltmanın bir yolu olarak görüyorlardı. Benzen en basitiyle altı parça karbon ve altı parça da hidrojenden oluşur – bir kek karışımı gibi.* Bu durumun atomların birleşme biçimleri bakımından ne ifade ettiği sorusunu pek çok kimyacı görmezden geldi. H_2O formülüne baktığımızda, atomların HHO, HOH sırasında mı yoksa her köşesinde bir atomun durduğu bir üçgen yapısında mı olduğuyla ilgilenmeyiz. Eğer bileşikleri Dalton'un atomlarıyla gösteriyor olsaydık, belki o zaman bir araya geliş şekilleriyle ilgilenebilirdik. Dolayısıyla, 19. yüzyılın ortalarına dek kimyacılar moleküler *şekillere* pek kafa yormadılar. Kaldı ki, daha önce de belirttiğim üzere, yüzyılın sonlarında bile atomun ne olduğuyla ya da atomların ne şekilde bir araya geldikleriyle ilgilenmenin faydasız olduğunu düşünenler hâlâ vardı.

İlksel madde

Dalton'un kuramı, atomlara elle tutulur bir gerçeklik kazandırmış olmanın yanında, bir başka kuramın daha ilerlemesine katkı sağladı. Bu kuramda elementler ayrık varlıklardır; siyah bir bilardo topu ile kırmızı arasındaki-

* Şimdi, madem karbon ve hidrojen benzinde eşit oranlarda mevcut, o zaman formülü neden basitçe CH şeklinde yazmıyoruz diye sorabilirsiniz. Şöyle ki, 6:6 oranı benzinden oluşan bileşiklerin formülleri söz konusu olduğunda, örneğin fenol (C_7H_6O), aşikâr olacaktır. "C_6" elementi diğer atomların aşılanabileceği tutarlı bir birimdi.

ne benzeyen bir farklılıktadırlar. Öte yandan, elementleri birbirlerinden ayıran, renkleri değil ağırlıklarıdır. Elbette, atomların kaba ve tahmini çizimlerini yapmak hiçbir şeyi kanıtlamaya yetmez, ama elementlerin dönüşebilir olmadıklarını, hatta birbirlerinden tamamen farklı oldukları fikrini pekiştirdikleri bir gerçek.

Peki, gerçekten öyleler mi? Aralarında değerli Michael Faraday'in de bulunduğu bazı kimyacılar, dönüşümden bahseden simya fikrini hemen kestirip atmadılar. Kimileri ise daha da cesurdu ve bu fikri modern bir dokunuşla yeniden incelemeye giriştiler. Eğer koşulları uç değerlere ulaştırmak mümkün olabilirse, o zaman bir elementi bir başkasına dönüştürebilir miydik?

Bu hem akla yatkın hem de çok mantıklı bir fikirdi. Dalton'un atomlarını birbirlerinden ayıran tek şey farklı ağırlıklarda olmalarıydı. Dahası, bu ağırlıkların çoğunlukla hidrojen atomunun ağırlığının tamsayı katları olduğu iddia edilmişti. Peki, tüm elementler bir şekilde bir araya gelerek daha büyük kütlecikler oluşturan hidrojen atomlarından mı yapılmıştı?

Bu teoriyi 1815'te öne süren, kimyacı William Prout (1785-1850) oldu. Bu fikri neye dayanarak geliştirdiğini de açıkça ifade etmişti: Antik Yunan filozoflarının tüm maddeleri oluşturan esas olarak gösterdikleri *prote hyle*. Dönüşümle ilgili eski inançların dayanağı da işte bu ilksel özdekti, ve şimdi de Prout açıkça bu fikrin geçerli olduğunu söylüyordu. Prout, *prote hyle*'nin hidrojen olduğunu ileri sürdü.

Brezelius buna "Prout hipotezi" dedi ama asla bunu tam olarak onaylamadı. Bazıları ise daha ılımlı yaklaştı. 1840'larda Fransız kimyacı Jean-Baptiste Dumas, bazı ele-

mentlerin atom ağırlıklarının hidrojenin ağırlığının tamsayı katları *olmadığını* belirterek bu hipotezi geliştirmeye çalıştı. Örneğin, klorun göreli atom ağırlığı 35,5 idi. (Prout tutarsızlıkların önüne geçmek için verdiği bazı sayılarla oynamıştı.) Dumas, atomların temel yapıtaşlarının hidrojen atomunun daha küçük altbölümleri olma ihtimalini düşündü: Yarım ya da çeyreği gibi.* Bu temel özdeğe de "protil" adı verildi.

Ne var ki, bir elementi başarıyla bir başkasına dönüştürmek şöyle dursun, hiç kimse hidrojen atomunu altbölümlerine ayırabilmiş değildi. Peki, teste tabi tutulamayan bu teori neden böylesine rağbet görmüştü? 1870'lerde, astronom Joseph Norman Lockyer, meselenin gerekli koşulların ne olduğunu bulmaya bağlı olduğunu söyledi. Lockyer elementlerin dönüştürülebilmeleri için bir yıldızın yoğun sıcaklığına ihtiyaç olduğunu belirtti.

Lockyer, 1869'da, daha önce Dünya üzerinde rastlanmamış yeni bir element keşfetti. Astronom bu yeni elementi Güneş'in yaydığı ışıktaki izine bakarak tespit etti. Atomlar ışığı kesin ve belirli dalgaboylarında soğururlar. Bunun anlamı da şudur: Güneşin atmosferindeki elementlerin ışığı soğurdukları noktada, güneş ışığının tayfında –bir prizmayla farklı renklerine ayrılan ışık– barkod görünümlü çok ince ve siyah bantlardan oluşan kesintiler meydana geliyordu. Lockyer de buna benzer bir soğurma

* Dumas bileşiklerin ağırlık ölçümlerinin atomların altbölümleri olabileceğine işaret etmesi karşısında oldukça şaşırmıştı ki 1837'de altını çize çize söylemişti bunu: "Elimde olsa atom sözcüğünü bilimden silip atardım."

çizgisi gözlemlemişti ve bu da laboratuvarda ölçülen o bilinen elementlerden hiçbiri değildi. Dolayısıyla, bunun şimdiye dek görülmemiş yeni bir özdek olduğunu düşündü. Fransız astronom Pierre Janssen de aynı zamanlarda Paris'teki gözlemevinden aynı duruma şahit olmuştu. Yeni elemente Yunanca güneş anlamına gelen *helios*'un adından hareketle helyum adı verildi.

Helyum, son derece inert olan soy gazların en hafifidir. Dünyada mevcut olmalarına karşın daha önce saptanamamış olmalarının nedeni de budur. Dünyadaki helyum, Lockyer ve Janssen'in onu ilk kez Güneş'te görmelerinden yirmi yedi yıl sonra saptanabilmiştir.

Lockyer, solar tayf üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda, Güneş'in kimyasal elementlerden oluşan bir miazma (zehirli hava) olduğunu gördü. Peki, bu elementler nereden gelmişlerdi? Lockyer daha sonra *Güneşin Kimyası* (1887) kitabında geniş çaplı olarak anlattığı bir teori geliştirdi. Bu teoriye göre, en sıcak yıldızlardaki (mavi-beyaz) yıldız maddesi bizzat atomu oluşturan unsurlara ayrılıyordu: Dumas'nın bahsettiği protil, *atomaltı parçacıklar*dı. Daha sonra, yıldızlar soğudukça bu parçacıklar birleşerek bildiğimiz elementleri oluşturuyorlardı – bir döneme kadar Dünya'daki varlığı bilinmeyen helyum ve başkaları gibi.

Lockyer yıldızların başlangıçta gevşek gaz kümeleri ve tozdan ibaret olduklarını ve element anlamında hiçbir şey barındırmadıklarını düşünüyordu. Tüm bu malzeme kütle çekiminin etkisiyle giderek sıkışıyor ve bu esnada ısınıyordu; ısı da bir noktadan sonra atomları prolite ayrıştıracak kadar yüksek bir hal alıyordu. Daha sonra, büzüşme hâlâ devam ederken, yıldız sarıdan kızıla bir soğuma içine giri-

yor ve bu esnada da protiller yoğuşarak giderek ağırlaşan elementlere dönüşüyorlardı. İşte, bu da Darwin'in türlerin evrimini yankılayan elementlerin yıldızsal *evrimiy*di.

Bu teori 1914'te Lockyer'in kurucusu olduğu *Nature* dergisinde yayımlandı. Ne var ki, o dönemde atomların neden yapıldıkları ve bölünebilir veya dönüştürülebilir olup olmadıklarına dair sorular yalnızca Dünya üzerinde yapılabilecek deneylerle mümkün olabiliyordu. Bu deneyler de gösterdi ki, "prolit" taraftarları –Prout, Dumas, Lockyer– bir bakıma doğru bir yoldaydılar.

Atomun içi

Ernest Rutherford (1871-1937) atomun bir anatomisini çıkarmaya karar verdiğinde bunun için altını seçti. Gerekçesi, kilise resimlerini ya da rölyeflerini altınla süsleyen Ortaçağ sanatçılarıyla aynıydı: Çok ince ve neredeyse şeffaf şeritler haline gelecek şekilde dövülebiliyordu. Yeni Zelandalı, fizikçimiz buradan yola çıkarak, yalnızca birkaç atom kalınlığında bir örnek üzerinde çalışabileceği fikrine kapıldı. Bu imkân da çok önemliydi çünkü Rutherford'un amacı en nihayetinde atomun *içinde* ne olduğunu bulmaktı. Dolayısıyla, çok ince bir parçaya ihtiyacı vardı – tıpkı bir dokunun en küçük parçasını alıp mikroskop altında inceleyen biri gibi. Atomun içini görmek istiyordu.

Rutherford bir keresinde şöyle demişti: "Atomların sıkı ve sağlam arkadaşlarmış gibi ve zevke göre kırmızı ya da gri renkleri varmış gibi anlatıldığı bir ortamda yetiştim." Oysa, 1907'de atomların pek o kadar da sert olmadıkları-

nı görecekti. Atomlar ağırlıklı olarak boşluktan oluşurlar. İngiltere'deki Manchester Üniversitesi'nde, Rutherford, öğrencileri Hans Geiger ve Ernest Marsden ile yaptıkları çalışmalarda, ince bir altın şeridine radyoaktif elementlerden alfa parçacıkları fırlattıklarında, parçacıkların bu inert elementin tam "içinden" geçebildiklerini gördüler. Üstelik şeridin içinden geçerlerken yönlerinde hemen hemen hiçbir sapma olmamıştı. (Geiger alfa parçacıklarını saptayabilen bir aygıtın icat edilmesine katkı sağlamıştı ki bu aygıta daha sonra Geiger sayacı dendi.)

Elbette, bir kurşunun altından bir yaprağı delip geçmesi normal bir şey. Fakat bir alfa parçacığı tek bir altın atomundan çok daha hafif bir kurşundu. Rutherford 1908'de bunun esasında elektrik yüklü bir helyum atomu olduğu sonucuna vardı: Bir helyum *iyonu*. Helyumun atom ağırlığı 4 iken altınınki 197'dir. Eğer atomlar Rutherford'a anlatıldıkları gibi olsalardı, alfa parçacıkları, şerit ne kadar ince olursa olsun, içinden geçemezlerdi.

Ne var ki, alfa parçacıklarının altın şeridinin içinden geçebilmeleri karşısında duydukları şaşkınlık, daha sonra Marsden'in buluşu karşısında duyacaklarının yanında hiçbir şeydi. Bir kısım alfa parçacığı, değil şeridin içinden geçmek, resmen geri tepmişlerdi. Araştırmacılar tam atomların gayet narin şeyler oldukları fikrine alışmışken, bu düşüncelerini ciddi bir biçimde yeniden gözden geçirmek zorunda kalmışlardı. Rutherford, Marsden'in bulgularını gördüğünde hissettiklerini şöyle anlatıyor: "Hayatım boyunca gördüğüm en inanılmaz hadiseydi. Bu, tıpkı kırk santim çapında bir top mermisini bir peçete kâğıdına ateşlediğiniz zaman gerisin geri tepmesine benziyor."

Rutherford'un ekibi çekirdeği de keşfetmişti. Atomlar, sonuç itibariyle, ağırlıklı olarak boşluktan oluşuyorlardı, ancak inanılmaz yoğunlukta merkezi bir öz vardı ki kütlenin tümü resmen buradaydı. Atomun kendi eninden yaklaşık 10,000 kat daha küçük olan bu çekirdek, pozitif yüklü alfa parçacıkları ittiğine göre, yine pozitif yüklü olmalıydı. Rutherford çekirdeği "aynı oranda negatif elektrik"ten oluşan bir bulutun çevrelediğini söyledi.

Danimarkalı fizikçi Niels Bohr (1885-1962) bu muğlak atom tanımını çok daha kesin ve kavramsal bir çerçeveye oturttu. Fizikçiler atomda elektronlar olduğunu birkaç yıldır biliyorlardı zaten – negatif yüklü atomaltı parçacıklar 1897'de Joseph John Thomson tarafından keşfedilmişti. Bohr 1911'de genç bir öğrenci olarak Thomson ile çalışmak üzere Cambridge'e gitti. Fakat İngiliz fizikçi açık fikirli değildi ve Bohr fırsatını bulur bulmaz Rutherford'un Manchester'daki laboratuvarına geçiş yaptı. 1912'de bir atom modeli tasarladı ve bir sonraki yıl da yayımladı. Bu model ona 1922'de Nobel Ödülü'nü kazandıracaktı.

Aslında, yoğun bir çekirdek etrafında, Güneş'in çevresindeki gezegenler gibi dönen elektronları olan Bohr'un atomunu Rutherford daha önce tahayyül etmişti. Bohr'un buradaki asıl katkısı, geleneksel fiziğe göre eksen çevresinde dönen elektronların ışığı soğurmaları gerektiği hesaba katılırsa, kararlı bir düzenleri olabileceğini göstermekti. Bu ise enerji kaybettiklerini ve döne döne en sonunda çekirdeğe düşmeleri gerektiğini gösteriyordu. Bohr, bu sıkıntıyı aşmak için, Einstein ile Max Planck'ın yüzyılın başlarında yaptıkları çalışmalardan doğan kuantum teorisinin yeni önermelerine başvurdu.

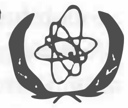
Bohr'un atomu Dalton'unkinden açıkça çok daha ileri bir düzeydeydi. Artık bölünmesi imkânsız tek bir parça değildi; atomaltı parçacıklardan oluşuyordu –elektronlar ve çekirdek– ve büyük bir kısmı da boşluktu. Atomun "büyüklüğü"nü kesin sınırlar değil, elektronların yörüngeleri oluşturuyordu.

Ve şimdi de çekirdeğe bakalım. Rutherford çekirdeğin pozitif yüklü atomaltı parçacıklardan oluştuğunu ileri sürdü. Hidrojen, yani en hafif atomun bu parçacıklardan yalnızca bir tanesine sahip olduğunu ve bunun da proton –*prote hyle* veya protilin nihai tecessümü– olduğunu söyledi. Rutherford, helyum çekirdeklerinin (yani alfa parçacıkları) hidrojen çekirdeklerinin iki katı pozitif yüke sahip olduklarını, dolayısıyla iki proton barındırdıklarını belirtti. Bu da Prout'un hipotezini kanıtlayan bir nitelikteydi: Çekirdekler proton yığışımları oldukları için tüm elementler bir bakıma hidrojenden oluşuyordu.

Ancak, Rutherford çok geçmeden hepsinin bu kadarla kalmadığını anladı. Bir helyum çekirdeğinde bir hidrojen çekirdeğine göre iki kat yük varken kütlesi dört katıydı. Bu doğrultuda, çekirdekte aynı zamanda protonlarla aynı kütleye sahip ancak elektrik yükü olmayan parçacıklar olduğunu ileri sürdü. Rutherford'un öğrencisi James Chadwick bu nötr parçacığı 1932'de keşfetti ve buna nötron adını verdi.

Bohr'un atomunda elektronlar tıpkı bugünün tanımında olduğu gibi –protonun 0,00055 katı bir kütleye sahiptirler ancak eşit ve negatif elektrik yükleri vardır– proton ve nötronların muazzam bir yoğunlukla bir araya gelmesinden oluşan çekirdeğin ekseninde dönerler. Şayet maddenin çoğunluğu boşluktan değil de yekpare olarak bu

(a) 

(b) 

Resim 6. Niels Bohr'un "güneş sistemi" atom modeli evrensel olarak tanınmış bir semboldür ve bugün bile atomik olan hemen her şeyin ifadesinde kullanılmaya devam eder – yanlış olmasına rağmen. *a.* Chicago Üniversitesi'ndeki anabilim dalının logosu. *b.* Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun sembolü.

yoğunlukta bir çekirdekten oluşsaydı, çok azı bile milyarlarca ton ağırlığında olurdu.*

Bu güneş sistemi atomu o kadar iyi bir biçimde öngörülmüş ve atomun anatomisi o kadar muntazam bir şekilde şemalaştırılmıştır ki bilimin evrensel ikonlarından biri olup çıkmıştır (Resim 6).

Bunların hepsi çok güzel tabii ama Bohr atomu aslında yanlıştı. Elektronlarla çevrili bir çekirdek tasviri gayet tutarlı gibi görünmekle birlikte, bu elektronlar, gezegenlerin yaptığı gibi düzgün bir eliptik eksen üzerinde ilerlemezler. Venüs ve Mars Newton yasalarına uygun davranırlar, ancak elektronları yöneten kuantum mekaniği yasalarıdır ve bu da her şeyden önce onlara daha da belirsizlik katar. Bir atomdaki herhangi bir elektronun yerini kesin olarak saptamak prensipte dahi mümkün değildir; tek yapabildiğimiz, herhangi bir zamanda belli bir yerde olma olasılığını hesaplamaktır. Bu da elektronun, çok küçük nesnelerin

* Madde, nötron yıldızlarda gerçekten de bu yoğunluklara ulaşabilir ki bu yıldızlar kendi kütle çekimleri altında çökerlerken tek tek atomların varlığı da yoğun sıkışma neticesinde ortadan kalkar.

parçacık gibi olmanın yanında, düzensiz özellikler barındırmalarının bir sonucu olduğu fikrini silip attı.

Bu takdirde, elektronları bir kovanın çevresinde dönüp duran arılar kabilinden –ama ayırt edilemeyecek bir hızla hareket eden– bir çeşit bulut oluşturan bir şey gibi düşünmek daha doğru olacaktır. Dahası, bu bulutlar, güneş sistemi benzetmesine istinaden, Satürn'ün halkaları gibi, disk benzeri bir şekle de sahip değillerdir. Elektronların enerji düzeylerine göre çok farklı şekillerde görülebilirler. Merkezinde çekirdeğin yer aldığı bazı bulutlar küre şeklindeyken, kimileri dambıl biçimindedirler ya da birden fazla lobları da olabilir. Bu bulutlara da *orbitaller* denir.

Kimyacılar kuantum atomu gündeme gelene dek en çok merak edilen gizemi bir türlü çözemediler: Elementlerin özelliklerinin sırrı. Helyum bu denli inert iken neden sodyum son derece reaktifti? Hidrojen gazındaki hidrojen atomları çiftler halindeyken karbon atomları neden elmastaki diğer dördüyle birleşiyordu?

Bu temayüller, başta da belirttiğim gibi, ağırlıklı olarak Periyodik Tablo'da kodlanmış durumdadır. Birazdan kuantum atomunun Periyodik Tablo'ya nasıl bir açıklama getirdiğini göreceğiz. Peki ama bu tablo ilk olarak nasıl ortaya çıkmıştı?

Kalıplar ve benzerlikler

Kimyanın popülerleşmesi için yapılan ilk girişim, ki hâlâ en keyifli kimya tarihçelerinden biridir, Bernard Jaffe'nin *Crucibles: The Story of Chemistry* adlı çalışmasıydı. İlk kez

1930'da yayımlanan bu kitapta kimyanın en renkli karakterlerinin yaşamöyküleri üzerinden bu disiplinin nasıl bir evrim geçirdiği anlatılıyor. Ancak, eğer güvenilir bir tarihi perspektif arıyorsanız, bunu okumanızı tavsiye etmem. Sağlam bir öykü anlatmak üzere yola çıkan Jaffe, hemen hemen tüm bildik mitleri büyük bir coşkuyla kabul eder ve her bir fikri hakikate ulaşmak için girilen amansız bir mücadele sonunda çıkagelen dâhiyane bir başarı olarak sunar. Jaffe'nin kimyacıları pozitif bilimin inşası gibi çok önemli bir görev peşindeymişler gibi resmedilirler.

Dolayısıyla, Jaffe'nin Dimitri Mendeleyev'i egzantrik ve kabarık saçlı bir "kimya mesihi" ve "Majestesi Çar III. Aleksander'in hatırı için bile saçlarını kestirmeyen bir Tatar"dı. "Bir hayalperest ve bir filozof"tu ve bu element bolluğu içinde herhangi bir düzen olup olmadığı sorusu "düşlerinde bile peşini bırakmıyordu".

Ama haksızlık da etmeyelim, Jaffe'nin pek çok tespiti de doğruydu. Mendeleyev (1834-1907) hiç kuşkusuz renkli bir şahsiyetti. Kazak soyundan olup Sibirya'nın ücra bir köşesinde "yiğit öncülerden oluşan bir aile"ye doğan Mendeleyev, 1884'te tanıştığı Sör William Ramsay üzerinde egzotik bir izlenim bırakmıştı. Daha sonra soy gazların büyük bir kısmını keşfedecek kişi olan Ramsay, Mendeleyev ile Londra'da düzenlenen bir davette karşılaşmış ve ona dair şunları söylemişti: "İyi birine benziyor... Kalmuk halkından ya da başka egzotik tiplerden biri herhalde."

Mendeleyev, aşağı yukarı doğru bir tablo oluşturmayı sonunda nasıl başardığını daha sonraları anlatırken, bu hayalperest vizyoner imgesini şu sözleriyle ortaya koyuyor: "Düşümde tüm elementlerin olması gereken konum-

lara yerleştiği bir tablo gördüm. Uyanır uyanmaz hemen bir kâğıda çizdim." Bu oldukça ilginç ifadeye Jaffe'nin yer vermemiş olması şaşırtıcı. Gerçekten de Mendeleyev bu mesele üzerine kafa yorarken uyuyakalmış olabilir. Ya da bilinçaltı elementlerin yapılarına dair düşüncelerin işgali altında da olabilir tabii. Mendeleyev'in mantıklı bir düzen oluşturan bir şemaya ulaşması tam üç gün üç gece sürdü ve dediklerine göre bu süre boyunca bir manik depresifin takıntılı ruh haliyle üzerinde semboller olan kartları tekrar tekrar karıp durdu. Başarıya ulaşmak üzere olduğu sırada ziyaretine gelen bir dostuna, "Kafamda hepsi yerli yerine oturmuş durumda," demişti.

Öte yandan, düşlerden ilham almak 19. yüzyılda romantik bilimin uygulayıcıları ve kimyacılar arasında epey yaygındı. August Friedrich von Kekulé 1865'te benzen molekülünün halkamsı yapısını bu yolla bulduğunu iddia etmişti. Kuşkusuz, serbest düşünseme anlarında bilimsel kavrayışlara ulaşılabilir ancak buna çok fazla vurgu yapmak veya güvenmek keşfe giden yolda bize rehberlik eden bir diğer sadık rehberimize gölge düşürebilir: Önceki çalışmalar.*

Ne Kekulé ne de Mendeleyev bu meseleye eğilen ilk kişilerdi; sorunun olası çözümü başkalarının da aklından geçmişti. Mendeleyev'in Periyodik Tablo'su bilime son derece önemli ve dâhiyane bir katkıda bulunmuştu bu-

* Bazı kimya tarihçileri Mendeleyev'in "düşü"nü bütünüyle görmezden gelirler. Hatta elementleri doğru bir şekilde düzenleyebilmek için iskambil falı bakar gibi kartlarla oynaması ve bu şekilde ulaştığı sonuçların geçerliği de sorgulanagelmiştir.

lunmasına, ancak bu ilk element tablosu değildi ya da elementlerin davranışlarında sürekli rastlanan yapılar da ilk kez gösterilmiyordu. Bu tarz ilerlemeler için uygun zaman gelip çattığında, genellikle birden fazla kişinin zihninde neredeyse eşzamanlı bir kavrayış anı yaşanır. Eğer Alfred Russell Wallace fikirlerini dostu Charles Darwin'e gönderdikten sonra onunla aynı anda yayımlamak üzere kendisiyle anlaşmak yerine hemen matbaaya götürseydi, belki Darwin kuramı değil de Wallace kuramı diyecektik. Ve eğer Alman kimyacı Julius Lothar Meyer çizdiği benzer bir tabloyu 1870'te değil de 1868'de, onu çizdiği zaman yayımlasaydı, o zaman Periyodik Tablo'da Mendeleyev değil, Meyer ölümsüzleşecekti. Her koşulda, 1860'ların sonuna gelindiğinde elementlerin periyodik krallığının keşfi artık kaçınılmaz olmuştu.

Lavoisier 1789'da otuz üç elementten oluşan listesini yayımladığı andan itibaren kimyacılar da bunları düzenlemenin ve sınıflandırmanın bir yolunu aradılar. Lavoisier elementleri gazlar, metaller, ametaller ve "topraklar" (ki bunlara kireç ve magnezya bileşikleri de dahildi) olarak dört gruba ayırdı. 1829'a gelindiğinde, ki liste bir şekilde genişlemişti, Almanya'dan Johann Wolfgang Döbereiner benzer kimyasal özelliklere bakılarak elementlerin birçoğunun üç değerlikli (*triad*) olarak gruplanabileceğini fark etti. Örneğin, lityum, sodyum ve potasyum yumuşak ve oldukça reaktif metaller olarak bir üçlü oluşturuyordu. Sonra klor, brom ve iyot vardı: Keskin, zehirli ve renkli gazlar. Bu üçlülerin kendi içlerinde bir mantıkları vardı: İkinci üyenin atom ağırlığı birinci ve üçüncünün ağırlıklarının kabaca ortalamasıydı.

1843'e gelindiğinde, Alman kimyacı Leopold Gmelin, on tane üçlü dışında, dörder (*tetrad*) elementten oluşan üç grup ve bir de beş elementli bir grup belirledi. Jean Baptiste Dumas da 1857'de belli metal grupları arasındaki ilişkileri tespit etti. Öyle görünüyordu ki, elementler kendi aralarında birtakım aileler oluşturuyorlardı. Bilim insanları bu yapıyı gördükleri zaman bunun temel bir nedeni –bir düzen ilkesi– olabileceğini düşündüler. Ne var ki, elementlerin düzenini neyin tayin ettiğini kavramak için, rastlantısal benzerliklerden oluşan bir derlemeye değil, tümünü kapsayan bir şemaya ihtiyaçları vardı.

1860'ta, İtalyan kimyacı Stanislao Cannizzaro, Karlsruhe'de düzenlenen uluslararası bir kimya konferansında, vatandaşı Amedeo Avogadro'nun elementlerin atom ağırlıklarının bulunduğu daha detaylı bir liste içeren çalışmasını açıklayarak bu tür bir şemanın da anahtar unsurlarından birini sağlamış oldu. Bu liste sayesinde, elementler, en hafiften (hidrojen) en ağırına olmak üzere ağırlıklarına göre düzgün bir sıralamaya oturtuldular.

Cannizzaro'nun ağırlıkları Karlsruhe'ye katılan birçok kişinin ilgisini çektiyse de, Avogadro'nun fikirlerini savunurken gösterdiği şevk gene de biraz kırılmıştı. Bu yeni listenin peşinde olanlardan biri de Mendeleyev'di. Fakat yalnız değildi. Lothar Meyer de İtalyan'ın yaptığı konuşmayı dinlemiş ve tanıtım broşürlerinden birini cebine atmıştı. Daha sonra bunu okuyuşuyla ilgili şöyle demişti: "Sanki gözümdeki perde kalkmış gibiydi."

1874'te Meyer elementlerin bileşik oldukları durumlardaki karşılıklı oranlarına göre gruplandırıldığı bir tablo yayımladı. Kekulé 1858'de karbonun diğer atomlarla bire

dört oranında birleşme eğiliminde olduğunu belirtti. Metanda bir karbon atomu dört hidrojenle birleşir; karbon tetraklorürde bir karbon atomu dört klora bağlanır. Buna bağlı olarak, ortaya *bağdeğer* kavramı çıktı: Her bir elementi "doyurmak" için gereken atom oranı. Karbon atomlarında da diğer atomlar için dört boşluk var gibi duruyordu. Meyer'in tablosu hem bilinen kırk dokuz elementin bağdeğerlerini, hem de kimyasal benzerlikler barındıran elementlerin aynı zamanda ortak bir bağdeğer paylaştıklarını gösteriyordu. Lityum-sodyum-potasyum grubu ile klor-brom-iyot grubunun bağdeğeri bir idi.

Elementler arasındaki ortaklıklara dair bir şeyler döndüğünü başkaları da seziyordu. 1850'lerde William Odling elementleri fiziksel ve karakteristik özelliklerine göre gruplandırdı. Bu gruplardan bazıları oksijen-sülfür-selenyum-telluryum ve nitrojen-fosfor-arsenik-antimon-bizmuttu, ki daha sonra Mendeleyev'in tablosunda da karşımıza çıkacaklardı. Odling 1864'te Mendeleyev'inkine çok yakın bir şema çizdi.

Aynı yıl, İngiliz kimyacı John Newlands, yayımladığı bir dizi makalede, elementler atom ağırlıklarına göre sıralandığı zaman, her elementin sekiz ve on altı konum sonrakilerle ortak özellikler gösterdiğini açıkladı. Diğer bir deyişle, bir elementin özellikleri periyodik olarak her sekiz elementte bir tekrarlanıyordu. Newlands bu durumu müzikle ilişkilendirdi ve her sekiz notada bir gamın yeniden başlamasına benzetti. Newlands bu düşüncesini 1866'da Londra'daki Chemical Society'de yaptığı bir konuşmasında dile getirdi ancak alay konusu olmakla kaldı. Diğer kimyacılar bu "oktav kanunu"nun salt rastlantısal olduğunu söylediler; içle-

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti=50	Zr=90	?=180
			V=51	Nb=94	Ta=182
			Cr=52	Mo=96	W=186
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198
			Ni–Co=59	Pl=106,6	Os=199
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Д. Менделѣевъ

Resim 7. Mendeleyev'in 1869 tarihli, o dönemki farazi atom ağırlıklarını gösteren Periyodik Tablo'su.

rinden biri de esprili bir biçimde elementleri alfabeye göre dizerse yine bu tarz örüntüler elde edebileceğini söyledi. Newlands'ın bu gözlemi ancak 1887'de, yani Mendeleyev de "oktav" yapısını savunduktan sonra, Royal Society Davy Madalyası verilerek gecikmeli olarak tasdik edilebildi.

Alkali Metaller | Alkalin Toprak Metalleri | Geçiş Metalleri | Halojenler | Soylu Gazlar

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Lr 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	110	111	112						

Süper-ağır Elementler

Lantanitler	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Aktinitler	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

Resim 8. Elementlerin modern Periyodik Tablo'su. Numaralar her bir elementin atom numarasını ifade ediyor: Çekirdekte bulunan proton sayısı. Meitneriyumun (Mt) ötesinde bazı süper-ağır elementler gözlemlenmişse de henüz adlandırılmamışlardır.

Tüm bunlara karşın, bugün elementleri bir düzene oturtabilen biri olarak hatırlanıp onurlandırılan kişi Mendeleyev oldu – şu halde bile, Mendeleyev'in 1869 tarihli orijinal tablosunda (Resim 7) modern versiyonuyla (Resim 8) karşılaştırdığımızda birçok tuhaflık olduğu görülebilir. Yine de, Mendeleyev'in katkısı azımsanamaz elbette. O, elementler arasındaki düzeni ortaya koymanın elementleri oluşturan düzeni bulmaktan daha kolay olduğunu da tahmin edebiliyordu. Bu ikisi arasındaki fark da Mendeleyev'in tablosunda bulunan ve kimilerine soru işaretleri konan *boşluklar*a bakıldığında açıkça görülebiliyor. Mendeleyev bilimin kendi döneminde tüm elementleri keşfetmeye yetecek bir seviyeye ulaşmadığını biliyordu.

Bu bile tamamen Mendeleyev'e özgü bir durum değildi – Odling'in tablosunda da eksik elementleri ifade eden boşluklar vardı. Gelgelelim, Mendeleyev daha ileri gitmeyi başardı. Tablodaki Periyodik eğilimleri de kullanarak eksik elementlerin özelliklerine dair detaylı denebilecek tahminlerde bulundu. Oluşturduğu yapıya öylesine inanmıştı ki, atom ağırlıkları deneysel olarak belirlenmiş dahi olsa, kendi kurduğu şemayla çelişebilen elementlerin (toryum elementi gibi) durumunu sorgulamaktan çekinmiyordu.

Mendeleyev'in eksik elementleri zamanla teker teker ortaya çıktı. Eka-alüminyum olarak adlandırdığı ve alüminyumu "altın"ın yerine konumlandırdığı (Mendeleyev'in tablosu dikeyken modern olan yatay biçimde ilerler) elementi 1875 yılında Fransız Paul-Émile Lecoq keşfetmişti. Lecoq, dönemin karakteristiğine uyarak, yurtsever bir he-

vesle buna galyum adını verdi.* Alman Clemens Winkler aynı yoldan gitti ve Mendeleyev'in eka-silisyumunu saptadıktan sonra buna germanyum adını verdi.

Lecoq galyumu keşfettiğinde Mendeleyev'in tablosundan da, yaptığı tahminlerden de bîhaberdi ve yaptığı keşfi bir başkasının daha önce öngörmüş olmasına da epey içerlemişti. Bu yeni elementin Mendeleyev'in eka-alüminyum olarak tahmin ettiğinden oldukça farklı bir yoğunluğa sahip olduğunu, dolayısıyla Rus kimyacının bahsettiği özdekle kesinlikle aynı olamayacağını iddia etti. Fakat daha sonra yapılan bir ölçüm neticesinde Mendeleyev'in öngördüğü yoğunluğun kesin olduğu ortaya çıktı.

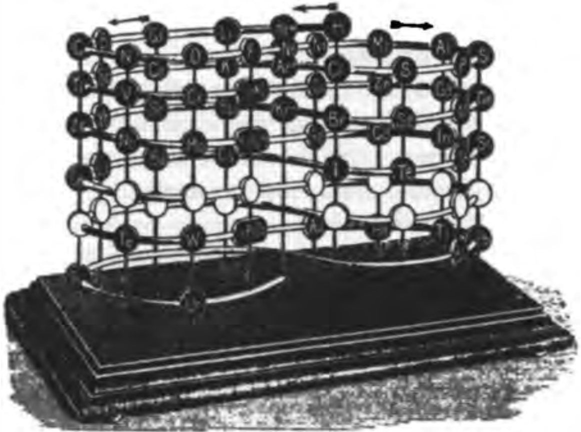
Mendeleyev'in orijinal tablosunda daha sonra bazı değişiklikler yapmak gerekmişti. Sibiryalı kimyacının 1902'de yayımladığı bu yeni versiyon yalnızca daha kapsamlı (yepyeni bir dizi oluşturularak soy gazlar helyum, neon, argon, kripton, ksenon ve başka şeyler de eklenmişti) olmakla kalmamış, aynı zamanda sıralamada değişiklikler yapılarak günümüz versiyonuna daha yakın bir hale getirilmişti. Tablo şu anki durumuna ulaşana dek daha pek çok başka hallere büründü.

Örneğin, İngiliz kimyacı William Crookes'un bükümlü olarak tasarladığı bir şemada, Mendeleyev'in gruplamalarına ek olarak, Lockyer'in kimyasal elementlerin yıldızlarda "evrildiği" düşüncesinin de paylaşıldığı görülüyordu.

* *Gallia* Latince'de Fransa anlamına gelirken *gallus* da yine Latince'de yavru horoz demektir, öyle ki Fransızca karşılığı da *le coq*'tur. Acaba galyumun kâşifi burada bir parça kendini yüceltme eğilimi göstermiş diyebilir miyiz?

Crookes elementlerin atomaltı parçacıklardaki bir plazmadan ortaya çıktıklarına düşünüyordu – gazların içinden elektrik boşaltımları göndererek laboratuvar ortamında üretebildiği plazmalar gibi. (Aslında, bu tür plazmalar iyon barındırsalar da atomaltı değildirler.) Crookes'a göre, atomaltı parçacıklarının bu yeniden yapılanmalarını ve dalgalanma hareketlerini Mendeleyev'in tablosundaki periyodikliği üreten salınımlı bir elektrik kuvveti yönlendiriyordu. Crookes bu teorisini 1888'de iki loblu bir "kelebek eğrisi" spiralinden oluşan bir model açıklayarak gösterdi (Resim 9).

Periyodik Tablo'nun spiral ve döngüsel formları defalarca gündeme geldi. Fransız jeolog Alexandre-Émile



Resim 9. William Crookes'un "kelebek eğrisi spirali", Periyodik Tablo'nun ilk alternatif formülasyonlarından biri.

Bécuyer de Chancourtois 1862 tarihli bir denemesinde elementlerin spiral bir düzenleri olduğuna işaret etmişti ve bunun da spiralin dikey kolonlarındaki elementlerin özelliklerinde görülen döngüselliği oluşturduğunu bulgulamıştı. Danimarkalı bilim insanı Gustav Detlef Hinrichs de 1867'de benzer bir spiral periyodik tablo oluşturmuştu. Ne var ki, bu alternatif yapılardan hiçbiri yeteri kadar rağbet görmedi; nedeni de bir spiralin *fazla* döngüsel olmasıydı.

Mendeleyev'in tablosunda da en nihayetinde tuhaf bir döngüsellik vardı. 1869 tarihli versiyonda birbirinden farklı boyutlarda birçok blok vardı. Bu bloklar bugünkü versiyonda hâlâ duruyorlar (Resim 8). Sol tarafın en üstündeki hidrojen ve sağ tarafın en üstündeki helyum ilk sırayı boydan boya ayırıyor.* Sonraki iki sıranın her birinde ikili ve altılı bloklar halinde sekiz element yer alıyor. Bu elementlerin ilk ikisini metaller, diğerlerini de ametaller oluşturuyor (alüminyum hariç).

İlk iki sıradan sonra on elementten oluşan yeni bir blok geldiği için dördüncü ve beşinci sıralarda on sekizer element bulunuyor. Tablonun ortasında yer alan ve onar elementten oluşan üç sıra yalnızca metallerden oluşur ve bunlara geçiş metalleri denir.

Altıncı sırada araya giren on dört elementten oluşan ayrı bir blok var ve doğru düzgün yerleştirilebilmeleri için

* Aslında kimse hidrojeni nereye koyacağını bilemiyor; başlı başına bir sınıf oluşturuyor. Bazen sol taraftaki alkali metallerin tepesine, bazen de sağdaki halojenlerin üstüne konuyor. Bazen helyumla birlikte sol tarafta serbestçe süzülüyor ki tablodaki eğilimler düşünüldüğünde belki de en iyi çözüm bu.

tabloyu uzatmak kullanışsız olacağı için aşağıya kaydırılmış. (Tablonun bazı versiyonlarında bu kısım lantanum ile hafniyum arasında bir kuşak olarak gösterilir.) Bu on dört elementten oluşan blok yedinci sırada tekrarlar. Bu blokların ilkinin üyelerine lantanit elementler, ikincide yer alanlara da aktinitler denir.

Yapı şu şekildedir: 2, 8, 8, 18, 18, 32 (18 + 14), 32. Elbette burada belli bir nizam var, ancak yeteri kadar açık olduğu söylenemez. Bu sayıların kaynağı neydi? Periyodik Tablo'nun yapısını belirleyen nedir? Mendeleyev'in bu konuda hiçbir fikri yoktu ve kuantum teorisi gelene dek bunlara hiç kimse yanıt veremedi.

Tabloyu okumak

Modern tabloda soldan sağa ve yukarıdan aşağı ilerledikçe atom ağırlığı artar – fakat ağırlıklar eşit adımlarla ilerlemez. Bu ilerlemeyi belirleyen de atom ağırlığından ziyade atom *numarası*dır. Atom numarasını da söz konusu atomun çekirdeğindeki proton sayısı belirler.

Bir elementin atom ağırlığı –kimyacıların bir tartı aletiyle ölçebileceği nicelik– hemen hemen eşit kütleye sahip proton ve nötron adedine bağlıdır. Hafif bir çekirdekte kabaca her birinden aynı miktarda bulunurken, daha ağır atomlarda nötronların daha baskın oldukları görülür. Ne var ki, çekirdekteki pozitif yükü belirleyen proton sayısı daha temel bir niceliktir. Rutherford atomların pozitif yüklü protonlar barındırdığı fikrini açıklayana dek ne atom sayısı kavramı ne de böyle bir şeyin olabileceği düşüncesi vardı.

Dolayısıyla, elementleri doğru bir ardışıklıkla düzenlemenin yolu, birbirini takip eden her elementle artan atom sayısıdır. Bu sayı bize her bir element atomunda kaç elektron olduğunu söyler: Proton ve elektronlar birbirlerinin yükünü dengeledikleri ve atomu elektrik açısından nötr hale getirdikleri için elektronların sayısı protonların sayısına eşittir.

Bir atomdaki elektron miktarı son derece önemlidir, çünkü kimyasal davranışı belirleyen bu parçacıklardır. Atomlar bileşikler oluşturmak üzere bir araya gelirlerken elektronları da bir çeşit tutkal gibi kullanırlar. Bunu yapmanın da iki yolu vardır: Bazı atomlar elektron paylaşmayı sever: Elektronlarından biri diğer bir atomunkiyle eşleşir ki el sıkışmaya da benzetebiliriz bunu. Diğer atomlar elektron kaybederek ya da kazanarak elektrik yüklü iyonlara dönüşürler. Metan molekülünde bir karbon atomu dört hidrojen atomuyla tokalaşır. Sofra tuzunda sodyum atomları her bir klor atomuna birer elektron bağışlar ve böylelikle sodyumlar pozitif yüklü iyonlara, klorlar da negatif yüklü iyonlara (klorür denir) dönüşürler. Sodyum ve klorür iyonları daha sonra elektrostatik çekim vasıtasıyla birbirlerine tutunurlar.

İki durumda da her bir elektronun bağlanma eğilimi –bağdeğer– atomlarının kaç elektron "feda edebileceği"ne bağlıdır. Hidrojen hariç (tek bir elektronla kutsanmıştır), bir atom, bağ oluşturmak için asla tüm elektronlarını kullanamaz. Genellikle bunun için çekirdeğe en uzak elektronlar kullanılır. (Kesin bir ifadeyle, bağlanmada en yüksek enerjiye sahip elektronlar kullanılır. Bunlar da genellikle "en dıştaki" elektronlardır, ne var ki, bazı elekt-

ron orbitallerinin tuhaf şekilleri düşünüldüğünde bu biraz muğlak bir kavramdır.)

Elektronların çekirdek çevresinde nasıl dizildiklerini hesaplamak için kuantum teorisi uygulandığında elektronların kabuklar halinde gruplandıkları görülür. İlk kabukta yalnızca iki elektron bulunur; bir sonrakinde sekiz ve ondan sonra gelende de on sekiz tane vardır. İşte, karşınızda Periyodik Tablo'nun sihirli sayıları.

İlk kabuktan sonra elektronlar alt-kabuklara ayrılırlar. İkinci kabukta, bir tane iki elektrondan ve bir tane de altı elektrondan oluşan iki alt-kabuk bulunur. Üçüncü kabukta üç alt-kabuk vardır: Birincisinde iki, ikincisinde altı ve üçüncüsünde on elektron vardır. Dördüncü kabuktaki alt-kabuklar 2, 8, 10 ve 14 elektron barındırır.

Artık Periyodik Tablo'daki blok büyüklüklerinin nereden geldiğini görebiliyoruz: Atom numarası yükseldikçe kabukların ve alt-kabukların elektronlar tarafından ardışık olarak doldurulmalarına tekabül ederler. Detaya indikçe durum daha da karmaşık bir hale gelir, çünkü kabuklar üst üste binmeye başlarlar. Örneğin, dördüncü kabuğun ilk alt-kabuğu üçüncü kabuğun üçüncü alt-kabuğundan önce dolar. İşin özü, Periyodik Tablo'nun alt sıralarına ilerledikçe doldurulacak ekstra alt-kabuklar ortaya çıktığı için, yeni element blokları açılır.

Periyodikliği yaratan etken her bir kabuğun doldurulmasının aşağı yukarı bir önceki kabukla aynı biçimde gerçekleşmesidir – yani kimyasal özelliklerin dizilimi tekrar eder. Her element, atomlarında bütünüyle dolu bir kabuk bırakacak şekilde bileşik oluşturma eğilimindedir. Bunu da diğer atomlarla elektron paylaşarak ya da en dış ka-

buğa elektron ekleyerek ya da ondan çıkararak yaparlar. Bir iyon oluşturmak üzere bir elektron kaybeden lityum, sodyum ve potasyumun üçü de dolu bir en dış kabuk elde eder. Karbon ve silisyum da aynı şeyi dört farklı atomun her biriyle birer elektron paylaşarak yaparlar. İşte, Meyer'in de gördüğü bağdeğerdeki periyodikliğin nedeni budur. Soy gazlar inert yapıdadırlar, çünkü her bir sıranın en sonuna gelirler ve halihazırda dolu bir kabukları vardır, dolayısıyla bunu başarmak için diğer atomlarla bağ kurmaya "ihtiyaç" duymazlar.

Periyodik Tablo'da bir elementin konumunun –sırası ve sütunu– bize onun kimyasal davranışları hakkında bilgi verebilmesinin nedeni de budur. Sütun numarası bize bağdeğer hakkında bir fikir verir. Aşağı sıralara indikçe kimyasal tepkiselliğin azalması genel bir kuraldır. Sene sonu sınavına hazırlanırken ter döken genç ve hevesli bir kimyacı için bu tablodan daha iyi bir kopya olamazdı.

V. Bölüm

ATOM FABRİKALARI: YENİ ELEMENTLERİN YAPIMI

O halde, toplam kaç element var? Ben dahil hiç kimse bunu bilmiyor. Tabii size kaç tane *doğal* element olduğunu söyleyen birileri çıkacaktır, yani evrende serbest olarak bulunabileceklerden bahsediyorum. Ancak uranyuma, yani 92 numaralı elemente vardığınızda artık *o* serinin de sonuna gelmişsiniz demektir.* Fakat iş kaç elementin var olabileceği sorusuna gelince, istediğiniz sayıyı belirleyebilirsiniz. Bunun limitinin ne olduğuna dair hiçbir fikrimiz yok.

20. yüzyılın ortalarından itibaren kimyacılar ve fizikçiler yeni elementler –daha önce hiç görülmemiş özdekler– yapmak üzere ortak bir çalışma yürütmeye başladılar.

* Uranyumdan biraz daha ağır olan ve radyoaktif bozunmayla (daha sonra göreceğiz) oluşan elementler doğal uranyum cevherlerinde cüzi miktarlarda bulunurlar. Ölen yıldızlarda görülen ve element oluşturan süreçlerle ortaya çıkan plütonyum da (element 94) doğada bulunmuştur. O nedenle kaç tane doğal element olduğunu söylemek biraz karışık bir mesele.

Büyük zorluklarla ve adım adım Periyodik Tablo'yu bilinmeyen topraklara doğru genişletiyorlar ve ne tür elementlerin oluşabileceği ve bunların nasıl davranacaklarının kestirilmesi giderek çetinleşiyor. İşte, burası da nükleer kimyanın alanı. Nükleer kimyacılar, burada, çoğu kimyacının yaptığı gibi kartları karıp yeni element kombinasyonları –moleküller ve bileşikler– yapmak yerine, atomaltı parçacıklarını (protonlar ve nötronlar) atom çekirdeği içinde farklı bağlar kurmaya zorlarlar.

Ve simya sonunda hedefine ulaşıyor: Bir elementin bir diğerine dönüştürülmesi. Antik dönem simyacıları kimyasal enerjiyle (atomlar arasındaki bağların kurulması ya da koparılmasında görülen enerji) elementlerin dönüştürülmesi imkânsız olduğu için daha baştan yenilmişlerdi. Ne var ki, 19. yüzyılın sonunda radyoaktivitenin keşfiyle her şey değişti. Bu, kimya tarihinin en muhteşem, en verimli ve en can alıcı evrelerinden birine açılan bir keşif olmuştu. Bu evre, Paris'teki Fizik ve Kimya Okulu'nda Marie Curie ve eşi Pierre'in laboratuvar olarak kullandıkları, çatısı akan, tahta bir kulübede başladı. Başka bir açıdan bakarsak, bu hikâye 1945'te, Japonya'nın güneyinde, Hiroşima şehrinin üstünde sonlandı; fakat, diğer yandan, asla nihayete ermedi. Şu an geri dönüşü olmayan nükleer bir çağın içindeyiz.

Atom nasıl parçalanır

Polonyalı genç bir kadın olan Marya Sklodowska Paris'in prestijli üniversitesi Sorbonne'a kaydolduğunda, bilim insanları bir kadının bu alanda eğitim görmek iste-

mesinin oldukça tuhaf olduğunu düşündüler. Buna karşın, Sklodowska, 1895'te Fransız profesör Pierre Curie ile evlenmesinin hemen ardından, Henri Becquerel'in 1896'da uranyum minerallerinden çıktığını gördüğü o gizemli ışınları araştırmaya koyuldu. Becquerel'i tetikleyen de bir önceki yıl Wilhelm Röntgen'in yaptığı bir keşif olmuştu. Röntgen, bir katot ışını tüpünden fosforesan bir ekranda ışıldamaya yol açan ışınlar çıktığını bulguladı.

Katot ışını tüpü 19. yüzyılın sonlarında fizikçilerin en çok kullandığı aygıtlardandı. İçindeki hava boşaltılmış olan bu cam tüpün içinde, negatif yüklü ve ısıtılmış metal plaka başka bir pozitif yüklü plakaya aralarındaki çekim sayesinde bir ışın –"katot ışın" –yolluyordu. J. J. Thomson, bu ışının negatif yüklü atomaltı parçacıklardan oluştuğunu gösterdi ki bunlar elektron olarak adlandırılmıştı. Televizyon ekranlarının temelinde de katot ışın tüpü vardır ve burada elektron ışınları fosfor denen bir malzemeye çarparak onun ışıldamasını sağlarlar (bkz. s. 208).

Ancak, Röntgen'in gizemli ışınları katot ışınları değildi. Bunlar katot ışınlarına maruz kalan cam tüpten yayılıyorlardı. Bu, camın floresan ışığıyla parlamasına yol açıyordu. Röntgen'in ışınları siyah kâğıdın içinden geçebiliyordu ve elini ışınlar ile parlayan ekran arasına tuttuğunda ekranda kemiklerinin yansımasını görebiliyordu. Röntgen, bunlara daha uygun olduğunu düşündüğü X-ışınları adını verdi.

Paris'te ise Becquerel doğal olarak floresan ya da fosforesan* olan özdeklerin de X-ışını yayıp yaymadıkları üze-

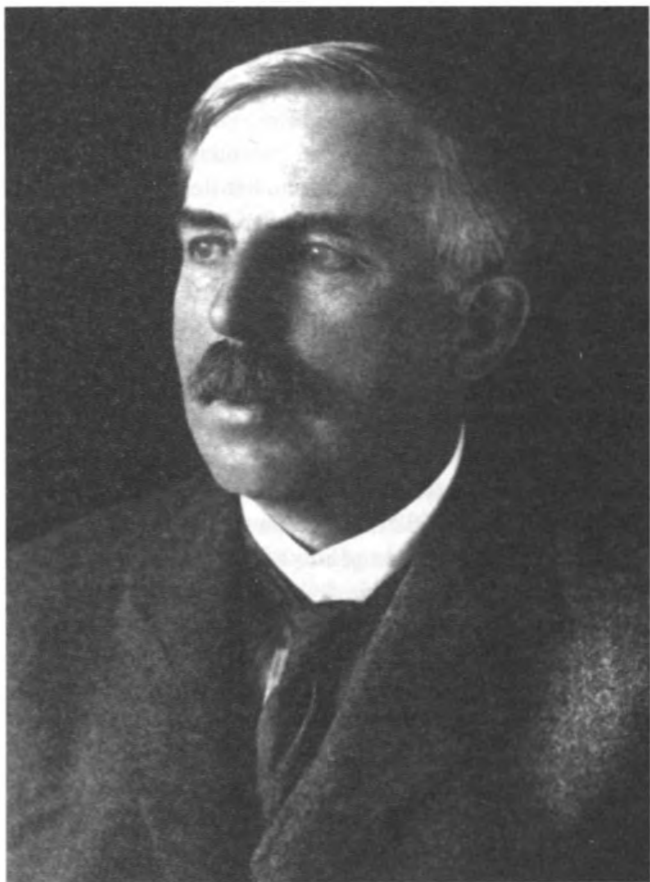
* Floresan özdekler üzerlerine farklı dalga boyunda (farklı bir renk) bir ışık tutulduğunda ışık yayarlar. Fosforesan malzemeler de aynı şekil-

rine kafa yordu. Alman kimyacı Martin Klaproth 1789'da fosforesan oldukları bilinen bazı mineral tuzların çok ağır bir metal olan uranyum elementi içerdiğini keşfetti. Becquerel bir uranyum tuzunun ışıldamasının güneş ışığıyla tetiklendiğini biliyor olmasına rağmen, siyah kâğıtla sarılmış ve uranyum tuzu serpiştirilmiş fotoğrafik plakaları birkaç gün ışık geçirmeyen bir bölmede muhafaza ettikten sonra plakada uranyum tuzlarının görüntülerinin çıktığını gördüğünde çok şaşırdı. Öyle görünüyordu ki, uranyum bileşikleri hem X-ışınlarından hem de floresandan farklı türde bir ışınıma daha sahiplerdi.

Pierre ve Marie Curie, Becquerel'in ışınımına "radyoaktivite" adını verdiler. Bir başka ağır metal olan toryumun da radyoaktif olduğunu bulguladılar ve bu doğal uranyum cevherinde (uraninit) başka radyoaktif elementlerin de olduğunu gördüler: Bunlara da polonyum (Marie'nin memleketine istinaden) ve radyum (ışıldadığı için) adını verdiler. İki yıl boyunca tonlarca uranyum cevherini tetkik ettikten sonra bu yeni elementlerin tuzlarını izole etmeyi başardılar. Bu çalışma her ikisinin de ellerinde ışınımdan kaynaklı feci yanıklar oluşmasına neden oldu ve hiç kuşkusuz Marie'nin 1934'te lösemiden ölmesini de hızlandırdı. Pierre de eğer 1906'da trajik bir trafik kazasında ölmeseydi muhtemelen onun da akıbeti aynı olacaktı.

Usta bir analitik kimyacıya dönüşen Marie Curie, eşi ve Henri Becquerel ile birlikte radyoaktivite üzerine olan

de davranır ancak ışıklandırma sonlandıktan sonra bile bir süre daha parlamaya devam ederler.



Resim 10. Ernest Rutherford (1871-1937) atomların temel mimarisini çözdü ve nükleer fizik alanını açtı.

çalışmaları nedeniyle 1903'te Nobel Fizik Ödülü'nü aldı. Fizikçi Ernest Rutherford (Resim 10) 1908'de aldığı Nobel Ödülü'nün kimya alanında olmasını her zaman esprili bir durum olarak anmıştır. Oysa, Rutherford'un kimya alanında yaptıkları ilginç olmanın yanında oldukça yenilikçiydi. 1899'da iki tür radyoaktivite belirledi ve bunları alfa ve beta parçacıkları olarak adlandırdı. Daha önce de gördüğümüz üzere, Rutherford, alfa parçacıklarının helyum çekirdekleri olduklarını çıkarsamıştı. Beta parçacıkları da elektronlardı fakat, tuhaftır ki, bunlar proton ve nötronlardan oluştuğu düşünülen atom çekirdeğinden geliyorlardı. Nötronun keşfinden önce, bu durum, Rutherford ve diğerlerinin çekirdekte bazı protonların sıkı bir şekilde elektronlara bağlı olduğunu ve bunun da yüklerini nötralize etmesinden kaynaklandığını düşünmelerine yol açtı. Chadwick ilk kez 1932'de nötronu tespit ettiği zaman bu fikir de gereksiz bir hale gelmiş olmasına karşın, aslında, çok daha derin bir hakikat de barındırıyordu; çünkü beta parçacığı salımının nedeni bir nötronun bir proton ve bir elektrona dönüşmesiydi ("bozunması").

1900'de, Rutherford ve İngiliz kimyacı Frederick Soddy, Montreal'deki McGill Üniversitesi'nde çalışırlarken, radyoaktif toryumun soy gaz radon atomları yaydığını kanıtladılar. Bu inert element de nereden çıkmıştı? Rutherford ve Soddy toryumun radyoaktif bozunmaya uğrayarak *başka bir elemente dönüştüğü* sonucuna vardılar.

Radyoaktif elementler bozunmaya uğradıkça bunlardan salınan parçacıkların aslında atom çekirdeğinin minik parçaları olduğunu anladılar. Çekirdek bunları uzaklaştırarak içerdiği proton sayısını da değiştiriyordu ve farklı

bir elementin çekirdeğine dönüşüyordu. Alfa bozunum iki proton ve iki nötronu (bir helyum çekirdeği) uzaklaştırıyor ve böylelikle bir elementi Periyodik Tablo'da iki sütun "önce"sine doğru hafifletiyordu. Beta bozunum bir nötronu bir elektron (yayılan) ve bir protona (çekirdekte kalan) dönüştürüyordu – dolayısıyla atom numarası artıyor ve element Periyodik Tablo'da bir sütun *ileri* gidiyordu. Niels Bohr ve Soddy bu kuralı formülleştirdiler ve radyoaktif yer değiştirme kanunu olarak tanımladılar.

Rutherford ve Soddy 1903'te radyoaktif bir çekirdek bozunduğunda açığa çıkan enerji miktarını kestirmeye çalıştılar ve "herhangi bir moleküler değişimde ortaya çıkan enerjiden en az yirmi bin ve belki de bir milyon kat daha fazla" olduğu sonucuna vardılar (moleküler değişimden kasıtları kimyasal bir reaksiyondu). Çekirdeğin içinde saklı enerji inanılmaz boyutlardaydı. Rutherford, bunun açığa çıkarılması ihtimali üzerine, o her zamanki şen ve espritüel kişiliğiyle, "Laboratuvarda bir ahmak tüm evreni bir anda havaya uçurabilir," demişti. Soddy daha ciddi bir dille şöyle yorumlamıştı: "Bu son derece kıskanç ve cimri doğanın kontrolündeki enerji deposunun şalterini ele geçiren kişi, eğer isterse tüm dünyayı yok edebilecek güçte bir silaha sahip olabilir."

Bu yalnızca bir başlangıçtı. 1919'da, Rutherford, radyumdan yayılan alfa parçacıklarının nitrojen atomlarının çekirdeklerinden protonları koparabileceklerini gördü. Bu yeni bir şeydi. Radyoaktif elementlerin diğer elementlere bozunmaları spontane gerçekleşiyordu; bunun da nedeni temelde kararsız olmalarıydı. Ancak, nitrojende kararsız olan hiçbir şey yoktu. Yine de, Rutherford onu *yapay* ola-

rak dönüştürmeyi başarmıştı. Gazeteler bu başarıyı çarpıcı bir ifadeyle duyurdular: "Atomu parçalamak."

Atomlar büyüdükçe bu şekilde parçalanmaları da giderek zorlaşır. Bunun nedeni, hem alfa parçacıklarının hem de atom çekirdeklerinin pozitif yüklü olmalarıdır – yani birbirlerini iterler. Çekirdeğe ulaşıp bir parçasını koparmak için alfa parçacığı itme eğilimi olan bu bariyeri aşmak zorundadır. Çekirdeğin büyüklüğü arttıkça proton sayısı ve dolayısıyla pozitif yükü de artacaktır. Doğal radyoaktif kaynaklardan çıkan alfa parçacıkları büyük çekirdeklerin çevresini saran o güçlü elektrostatik bariyeri delecek kadar enerjiye sahip değillerdir.

Bunun çözümü, alfa parçacıklarının daha yüksek bir hızda fırlatılmasıydı. Parçacıklar elektrik yüklüydüler, dolayısıyla bunları hızlandırmak için elektrik alanları kullanılabilirdi; tıpkı çekim alanının düşen bir elmayı hızlandırması gibi. 1929'da, Berkeley'de, Kaliforniya Üniversitesi'nden Amerikalı fizikçi Ernest Lawrence parçacıkları yüksek bir hıza ulaştırmak için yüksek voltajlı plakalardan yararlanılabileceğini düşündü. Plakaların şekli parçacıklara spiral bir hareket vermek üzere tasarlandı, çünkü parçacıkları düz bir hat üzerinde hızlandırmak için laboratuvardan bile daha uzun bir hızlandırıcı gerekecekti.* Lawrence aygıtın şekline istinaden tasarımına siklotron adını verdi.

* İlk günlerde yüksek enerji fizikçileri herkes kadar küçük düşünüyordu. Bugün ise Cenevre yakınlarında bulunan CERN'deki parçacık fiziği laboratuvarında 27 km. uzunluğunda, halka şeklinde bir hızlandırıcı var.

Fransız bilim insanı Frédéric Joliot ve eşi Irène Curie (Marie ve Pierre'in kızı) nötronu keşfederek Chadwick'in bir adım önüne geçmişlerdi. Alman fizikçi Walther Bothe, 1920'de, berilyum gibi bazı hafif elementlerin alfa parçacıkları bombardımanına tutulduklarında izah edilmesi zor miktarlarda bir ışınım yaydıklarını gözlemlemişti. Onun izinden giden Joliot ve Curie, bu ışınımın balmumunda bulunan hidrokarbon moleküllerindeki protonları devirebildiğini keşfetti. Bu gizemli yayımın gama ışınları olduğunda karar kıldılar – radyoaktif bozunmayla ortaya çıkan üçüncü bir ışınım çeşidi. Gama ışınları parçacık değildirler; ışık, radyo dalgaları ve X-ışını gibi bir tür elektromanyetik ışınımdır. Diğer bilim insanları yalnızca bir gama ışınının balmumundan protonları koparabilmesini şaşkınlıkla karşılamışlardı – bu tıpkı bir bovling topunun yönünü sapanla değiştirmeye benziyordu.

Bothe'nin ışınımı aslında nötronlardan oluşuyordu. Neyse ki, Chadwick bu gerçeği Joliot ve Curie'den (ya da herhangi biri) önce fark edip aceleyle yaptığı bir dizi deney sonucunda kanıtlamayı başardı.*

Çekirdekleri parçalamak için nötron, alfa parçacıklarından çok daha iyi bir çekiçtir. Nötron, elektrik açısından

* Joliot ve Curie de 1933'te boron ve alüminyum gibi kararlı hafif elementlerin alfa bombardımanı altında radyoaktif elementlere dönüşebileceklerini keşfettiklerinde yeni bir zafer elde etmiş oldular. Bu buluş, Irène'nin annesi için ölmeden kısa bir süre önce büyük bir sevinç kaynağı oldu ve Joliot ve Curie'ye de 1935'te Nobel Kimya Ödülü'nü getirdi. Irène de annesi gibi lösemiden öldü.

nötr olduğu için, çekirdeğe nüfuz ederken herhangi bir elektrostatik bariyerle de karşılaşmaz. Öyle ki, yavaş nötronlar çekirdeğe hızlı olanlardan daha etkili nüfuz ederler – tıpkı yavaş gelen bir topun daha kolay yakalanması gibi. Dolayısıyla, nötronun keşfi, kıdemli nükleer fizikçi Hans Bethe'nin gözünde nükleer fizik alanında tam bir dönüm noktası olmuştu.

İtalyan fizikçi Enrico Fermi de elementler nötron bombardımanına tutuldukları zaman ne olacağını araştırmaya koyulanlardandı. Nötronlar, proton veya alfa parçacıklarını genellikle hafif elementlerin çekirdeklerinden koparabiliyorlardı, ancak ağır elementler söz konusu olduğunda bu iş o kadar da kolay değildi. Bunlar, çekirdeği en başta bir arada tutan atomaltı unsurları bağlayan aynı nükleer gücü kullanarak nötronu yakalayıp soğurma eğilimindeydiler. Çekirdek bunun akabinde ve kendince uygun bir zamanda bozunarak beta parçacıkları yayıyordu.

Fermi bunun şu anlama geldiğini düşündü: Eğer uranyum bilinen en ağır metal nötron ışınlamasına maruz kalırsa, daha önce bilinmeyen "uranyum-ötesi" bir elemente bozunabilirdi. Uranyumun atom numarası 92'dir; beta bozunum onu Periyodik Tablo'da "element 93" olarak yeni bir üyeye dönüştürür.

Peki, yeni bir element yaptığınızı nasıl anlarsınız? Küçük bir uranyum örneğinde, nötron ışınlanması sonucunda ancak cüzi miktarlarda bir element 93 elde edilebilir – belki yalnızca bin civarı kadar atom. Bu tür atomlar radyoaktif olacakları için rahatlıkla bir Geiger sayacıyla tespit edilebilirler. Ancak, öncelikle bunları yine radyoaktif olan uranyumdan ayırmanız gerekir. İşte, fizikçiler tam da bu

noktada kimyacıların yardımına başvurdular. Curie'lerin çalışmalarıyla başlayan nükleer kimya veya "radyokimya", oldukça düşük miktarlarda nadir element örnekleriyle çalışmak zorunda kalmış ve bu süreçte Lavoisier'nin hayal bile edemeyeceği bir analiz becerisi geliştirmişti – özdekleri element bileşenlerine ayırmak konusunda.

Fermi, İtalyan kimyacı Oscar D'Agostino'nun da desteğiyle, uranyumun nötron ışınlanması vasıtasıyla beta-yayan yeni bir kaynak buldu. D'Agostino bunun uranyum (atom numarası 92) ile kurşun (atom numarası 82) arasında bilinen elementlerden hiçbiri olmadığını kanıtladı. 1934'te Fermi şöyle not almıştı: "Bu elementin atom numarası 92'den büyük olabilir." Bu çıkarımlarını açıklarken temkinliydi, ancak beraberindekilerle bulduğu *iki* yeni elementi adlandırma dürtüsüne de dayanamadı: Bunlara element 93 ausenium ve element 94 hesperium adları verildi.

Gelgelelim, bunları Periyodik Tablo'da göremezsiniz, çünkü Fermi'nin ekibi 93 ve 94 numaralı elementleri aslında bulamamışlardı. Gerçekte, uranyumlarının başına gelen hadise çok daha dramatikti. Fakat bu hikâyenin kalan kısmının yazılması için daha pek çok yıl geçmesi gerekecekti.

İlk hakiki uranyum-ötesi element Berkeley'de, 1939'da keşfedildi: Edwin McMillan, Lawrence'ın siklotronunu kullanarak uranyumu düşük hızda nötron bombardımanına tuttu. Beta bozunumu olduğunu gördü ve bunun element 93 olduğu tahmininde bulunarak onu izole etmeye çalıştı. McMillan, elementin Periyodik Tablo'da geçiş metali renyumun altına geldiğini gördüğü için, renyumun birtakım kimyasal özelliklerini de paylaşması gerektiğini

düşündü. Fakat Fermi ve bir defalığına birlikte çalıştığı Emilio Segrè, yaptıkları kimyasal analiz sonucunda, "eka-renyum"un (Mendeleyev'in terminolojisiyle) daha ziyade bir lantanit gibi (tabloda lantanumdan sonra gelen on dört elementlik bir seri, bkz. s. 207) davrandığını bulguladılar. Hayal kırıklığına uğramışlardı; buldukları zaten bilinen bir elementti.

Fakat, 1940'ta McMillan'a katılan kimyacı Philip Abelson bu eka-renyumun gerçekten de yeni ve uranyuma benzer özellikler taşıyan bir element olduğunu hızlı bir şekilde kanıtladı. McMillan buna Uranüs'ten sonraki gezegen Neptün'ün adından hareketle "neptünyum" adını verdi. Bu keşif, Periyodik Tablo'nun sınırları dışına çıkılacak bir yolculuğun da başlangıcıydı.*

Aynı yılın sonlarına doğru, Berkeley'den Glenn Seaborg, Joseph Kennedy, Edwin McMillan ve Arthur Wahl, siklotron kullanarak uranyumu ağır hidrojen (doteryum; bkz. s. 167-168) iyonu bombardımanına tuttular. Bu işlem sonucunda beta salımıyla bozunan neptünyum elde ettiler

* Ne var ki, bu, daha önce bilinmeyen bir elementin ilk kez sentezlenişi de değildi. Bu şeref Segrè ve meslektaşı Carlo Perrier'ye, 1937'de tanımlanan 43 numaralı element teknetyuma aitti. Berkeley'deki siklotron kullanılarak, ince bir molibden şeridine ağır hidrojen (doteryum) çekirdekleri yağdırılmasıyla elde edilmişti. 1925'te Alman bir ekip de mineral kolombiti elektron ışınlandırmasına maruz bıraktıktan sonra yeni bir element (mazuryum adını vermişlerdi) elde ettikleri iddiasında bulunmuştu ki bunun da teknetyum olması ihtimal dahilindedir.

Daha önceleri bilinmeyen bir başka element olan astatin (element 85, halojenlerin en ağırı) Berkeley'de, 1940 yılında bizmutun alfa parçacıkları bombardımanına tutulmasıyla elde edilmişti. Bunun yeni bir element olduğunu ilan eden ekibin arasında yine Segrè vardı.

ve bu elementi Periyodik Tablo üzerinde uranyumun bir önüne yerleştirdiler. Berkeley ekibi, akabinde, Segrè'nin de katılımıyla, uranyumu nötron yağmuruna tutarak atom numarası 94 olan bir başka yeni element ürettiler. Wahl ve Seaborg 1941 yılının başlarında bu yeni elementi ayrıştırabilecekleri kimyasal bir yöntem geliştirdiler. Klaproth'un başlattığı gelenek ve McMillan'ın da onayıyla Seaborg bu elemente plütonyum adını verdi. Plüton güneş sistemindeki en uzak gezegendi ve ayrıca Yunan ölüm tanrısıydı.

Ekip yaptıkları keşifleri anlattıkları bir makale hazırladı ancak daha sonra bunu yayınlamaktan vazgeçti. Savaşın sürdüğü bir dönemde plütonyumla ilgili haberlerin kamuda huzursuzluk yaratabileceğini düşündüler.

Paramparça

1934'te, Macar fizikçi Leo Szilard İngiliz Patent Enstitüsü'ne bir patent başvurusunda bulundu. Elindeki şey yalnızca bir fikirdi aslında – nükleer enerjiyi kontrol etme fikri. Joliot ve Curieler çekirdeklerin parçacık bombardımanına tutulmasının yapay bir radyoaktif bozunumu tetiklediğini göstermişlerdi. Bothe ve Chadwick'in çalışmaları da bazı radyoaktif çekirdeklerin nötron saldığını kanıtlamıştı. Peki, eğer nötronların tetiklediği radyoaktif bozunum sonucunda ortaya daha fazla nötron çıksaydı ne olurdu? Bu zincirleme bir reaksiyon başlatabilirdi: Kendi kendini idame ettiren bir nükleer enerji salımı.

Bu epey şüphe uyandıran bir önermeydi. Szilard nötronların radyoaktif bozunumu tetikleme bakımından alfa

parçacıklarından daha iyi bir seçenek olduğunu düşünüyordu – ancak henüz bunu kanıtlayan biri çıkmamıştı. Ve aynı zamanda hem nötronları yakalayabilen hem de salabilen bir özdek bulunması gerekiyordu. Dahası, zincirleme bir reaksiyon başlatmak için salınan nötronların yakalanan nötronlardan daha fazla olması gerekiyordu. Her koşulda, bu olasılık Szilard'ın içten içe buz kesmesine neden olacak kadar dramatik ve korkutucu bir sonuca işaret ediyordu. Şayet zincirleme reaksiyon artarak devam ederse, o zaman, "Bir bomba yapabilirim," demişti. Patent başvurusunu Marie Curie'nin öldüğü günde, 12 Mart'ta yapmıştı.

Szilard'ın zincirleme reaksiyon için ihtiyaç duyduğu özdek de bundan dört yıl sonra tespit edildi – Hitler'in Almanyası'nda. Otto Hahn, Berlin Üniversitesi'nde görevli bir radyokimyacıydı. O ve meslektaşı Fritz Strassmann uranyumun nötron bombardımanına tutulmasının etkilerini araştırıyorlardı. 1938'de açıklama getiremedikleri bir şeyle karşılaştılar: Çekirdekten parçalar koparan o her zamanki bozunma süreci yerine, baryum elementi çıkmıştı ortaya. Oysa baryumun atom numarası 56 idi ve bu da uranyumun yarısından biraz fazlaydı. Tabii ki uranyum çekirdekleri ortadan ikiye ayrılmış olamazlardı? Yoksa olabilir miydi?

Hahn, aynı yılın Noel'inde, eski meslektaşı Lise Meitner'e yazdığı bir mektupta şaşkınlığını itiraf etmişti. Meitner, Yahudi kökeni nedeniyle Nazilerden kaçıp Stockholm'e sığınan Avusturyalı bir fizikçiydi. 1938'deki Anschluss olayının ardından, Berlin'den kaçmadan önce, Meitner, Hahn ile birlikte nötron bombardımanı deneylerine 1934'te başlamıştı. O da Hahn'ın şaşkınlığını verdiği yanıtla paylaşmıştı:

Elde ettiğin sonuçlar çok şaşırtıcı. Demek yavaş nötronlar baryumun oluşmasına neden oldu!... Şu anda böylesine kusursuz bir ayrılmanın mümkün olabileceğine inanmak benim için oldukça zor, ancak nükleer fizikte daha önce de pek çok sürprizle karşılaştık. O nedenle, bu asla mümkün olamaz gibi kesin bir dil de kullanamam.

O Noel, Meitner'i Nazi rejiminden kaçan bir başka kişi olan yeğeni ve fizikçi Otto Frisch İsveç'te ziyaret etti. Ormanda yaptıkları yürüyüşlerde bu konuyu tartıştılar ve yavaş yavaş kaçınılmaz sonucu kabullendiler: Uranyum çekirdeği bir su damlasının ayrılmasına benzer bir biçimde gerçekten de iki parçaya bölünüyordu. Yılbaşında Kopenhag'a giden Frisch, ziyaret için orada bulunan Amerikalı bir biyologa uranyum çekirdeğinin bölünmesini andıran hücre bölünmesi sürecini sordu. "Fisyon" yanıtını aldı. Meitner ve Frisch, bunun üzerine, Strassmann ve Hahn'ın gözlemlediği hadiseyi de bu şekilde adlandırdılar: Nükleer fisyon.

Philip Morrison, Amerikalı fizikçi Robert Oppenheimer'in genç bir öğrencisi olduğu o dönemlere dair şöyle bir anısını paylaşmış: "Fisyonun keşfedilmesinin ardından belki de daha bir hafta bile geçmemişti ki, Robert Oppenheimer'in ofisindeki karatahtada çok çirkin bir bomba çizimi belirmişti."

Plütonyum ve bomba

Neden bir bomba? Çünkü uranyum fisyonu yalnızca baryum ya da başka elementler değil, nötron da üretir.

İşte, Szilard'ın ihtiyaç duyduğu zincirleme reaksiyon tam da buydu.

Ne var ki, bomba yapımı kolay bir iş değildi. Doğal uranyum iki şekilde bulunur ya da *izotoplar* halinde de denebilir (bkz. s. 165). Bunların çekirdeğinde aynı sayıda proton (92) bulunurken nötron sayıları farklıdır. Bir izotopta 143 nötron (uranyum-235 ya da ^{235}U) varken diğerinde bu sayı 146'dır (uranyum-238 ya da ^{238}U). Fisyon ürünlerinden salınan yavaş ve düşük enerjili nötronların tetiklediği fisyon yalnızca ^{235}U için geçerlidir. Dolayısıyla, zincirleme bir reaksiyon için yalnızca bu izotop kullanılabilir. Ancak, doğadaki uranyum çoğunlukla ^{238}U'dur; ^{235}U'nun oranı yalnızca %1'dir. Bir bomba için yalnızca birkaç kilo ^{235}U'luk bir "kritik kütle" yeterlidir – bundan daha azı olursa nötron kaybı çok fazla olacağı için reaksiyon mümkün olmayacaktır. Ne var ki, 1940'ta doğal uranyumdan daha hafif olan bu izotopu bu miktarda bile çıkarmak neredeyse imkânsız bir işti.

Ama neredeyse imkânsızdı, tamamen değil; Szilard gibilerini de asıl endişelendiren buydu. Szilard, Nazilerin emrinde çalışan fizikçilerin de aynı olasılığı göreceğinden ve bir bomba yapmaya çalışacaklarından emindi. Haksız değildi, denemişlerdi ancak fizikçi Werner Heisenberg'in liderliğinde yürütülen Alman atom bombası projesi asla o noktalara gelemedi.* Gelgelelim, Szilard, Amerikalıları

* Bazı tarihçiler, Heisenberg'in bombanın Hitler'in eline geçmesini istemediği için bilerek ayak sürüdüğünü düşünürler. Diğerleri ise yalnızca hesaplama hataları yapmış olabileceğini söyler. Heisenberg'in aklından gerçekte ne geçtiğini asla öğrenemeyeceğiz. Michael Frayn'ın 1998 tarihli oyunu *Copenhagen*'de (Londra: Methuen) bu konu büyük bir ustalıkla irdelenir.

düşmanlarından önce davranarak atom bombası yapmaları için ikna etmeye de çalışıyordu. O zamanlar bu işin üstesinden gelmek için gereken kaynaklara sahip olan tek ülke de zaten ABD idi. Szilard yalnızca bir fizikçiydi ama etki sahibi olan ve sonraları çok daha önemli birine dönüşecek bir dostu vardı: Albert Einstein.

Başkan Roosevelt'e Szilard'ın düşüncesini destekleyen bir mektup yazmayı kabul eden Einstein, böylelikle, farkında olmadan adını sonsuza dek atom bombasıyla ilişkilendirmiş oldu. *Time* dergisinin 1949 tarihli ünlü kapağında, Einstein'ın kabarık saçlarıyla yan yana duran mantar bulutu, kamu bilincinde, atom bombasını sanki Einstein "icat etmiş" gibi bir algı yaratmıştır. Oysa, dünyanın en güçlü silahı o meşhur $E = mc^2$ çıkarımının bir ürünü değil, ABD ordusunun finanse ettiği olağanüstü bir kimya ve makine mühendisliği eseriydi.

Gelgelelim, Manhattan projesi, Oppenheimer'in liderliğinde ve Einstein'ın da arkasında durmasıyla başlatılmış oldu. Amerika Pearl Harbour saldırısından sonra savaşa dahil olunca, Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği'nin New York ofisinin bulunduğu bölgeyle aynı adı taşıyan bu projeye resmen açık çek verildi. Bomba yapım aşaması iki cepheden oluşuyordu. Bir yandan uranyum izotoplarını miligram miligram ayırmak için fizik ve kimya teknikleri geliştiriliyor, beri yandan da farklı bir nükleer patlayıcı kullanımı değerlendiriliyordu: Plütonyum.

Seaborg ve meslektaşlarının keşfettiği 94 numaralı element işte bu noktada oldukça hassasiyet kazanmıştı. 1941'de, Berkeley ekibi ABD hükümetine yeni bir elementin bir izotopunun –plütonyum-239– yavaş nötron-

larla ^{235}U'dan bile daha etkili şekilde parçalanabileceğini bildirdi. İşte, yine greyfurt büyüklüğünde bir parçadan bomba yapılabilecekti.

Ne var ki, Berkeley siklotronunda atom atom plütonyum yaratmak kritik kütleye ulaşmanın yollarından biri değildi. Enrico Fermi, 1942'de, Chicago Üniversitesi'ndeki bir reaktörde, ekibiyle birlikte ilk kontrollü nükleer zincirleme reaksiyonu gerçekleştirerek plütonyum sentezlemenin daha iyi bir yolunu tanıtladı. Burada doğal uranyum yakıtı kullanıldı ve kendi kendini idame ettiren nötron salımı ve yakalanması vasıtasıyla plütonyuma dönüştürüldü. Zincirleme reaksiyonu kontrol altında tutmak için nötronları soğuran kadmiyum çubukları kullanıldı ve salınan nötronlar da "moderatör" (yavaşlatıcı) karbon (grafit) çubuklar vasıtasıyla fisyon tetikleyen hızlara düşürüldü.

Fermi'nin "atom reaktörü" yalnızca bir prototipti. Plütonyum bombasının üretilmesi için Washington Eyaleti'nde küçük bir kasaba olan Hanford'a bir santral inşa edildi. Ve böylelikle ABD savaş makinesi damla damla uranyum-235 ile plüton sıkmaya başlarken New Mexico'daki Los Alamos kompleksinde de kimyacılar ve fizikçiler atom bombasının nasıl yapılacağı meselesi üzerine kafa yordular.

Hikâyenin gerisi malum – bu öyle bir hikâye ki 20. yüzyılı altüst etmiş ve dünyayı ortadan ikiye ayırmış. Oppenheimer, Szilard, Bohr, Fermi ve diğerleri elbette esas görevlerinin ne olduğunun bilincindeydiler ve nihai amaç her ne kadar onları dehşete de düşürse, bu bilimsel zorluk onlara apayrı bir heyecan da veriyordu. Temmuz 1945'te,

Trinity testinde, Nevada çöllerinde ilk atom bombası patlatıldığı zaman Oppenheimer bu anı kutsal Hindu metni *Bhagavad Gita*'dan bir alıntıyla tarif etmiş: "Artık ölümüm ben, dünyaları yok eden." Öte yandan, ABD ordusu için bu yalnızca bir bombaydı ama en nihayetinde Japon imparatoruna korkudan boyun eğdirecek ve Pasifik'teki ölümcül savaşı sonlandırabilcek kadar da güçlü bir bombaydı bu.

6 Ağustos 1945'te, *Little Boy* (Küçük Oğlan) adı verilen, bir silah mekanizması vasıtasıyla bir parça uranyumun bir diğerine ateşlenmesiyle kritik kütleye ulaşan bir uranyum bombasıyla Hiroşima yok edildi. Bu yöntemle, büyük kısmı fisyona uğramadan önce uranyumu parçalayacak zincirleme reaksiyonun önüne geçmek için parçaların kritik kütleye yeteri kadar çabuk bir şekilde ulaşması sağlanmıştı. Üç gün sonra Nagazaki'ye *Fat Man* (Şişman Adam) atıldı; insan yapımı elementin içpatlama yoluyla kritik kütleye yoğunlaştırılması prensibine dayalı bir plütonyum aygıtıydı bu. Kesin kayıp sayısı bilinmemekle birlikte, iki patlama sırasında ve sonrasında muhtemelen 300,000 kişinin öldüğü düşünülüyor. Szilard bu haberleri alınca şunları yazmıştı: "Artık bu noktadan sonra aklı selim bir yol izleyebileceğimizden emin değilim."

Bir yıldızın gücü

Savaştan önce Macaristan'dan kaçan ve Los Alamos ekibinin de önemli bir üyesi olan parlak fizikçi Edward Teller, bundan sonra nasıl bir yol izlenmesi gerektiğinden

gayet emindi. Teller, ABD hükümetini 1942'de Fermi'yle tartıştığı bir fikrin peşinden gitmesi için sıkıştırdı: Nükleer enerjiyi fisyon değil, ama füzyon vasıtasıyla serbest bırakan bir "süper bomba" fikri. Füzyon bombası bir an için dahi olsa kör edici parlaklığıyla yapay bir güneş oluşturmaya benzer.

1919'da, Cambridge'de, Cavendish Laboratuvarı'nda çalışan Francis Aston, atom ağırlıklarını isabetli bir şekilde ölçmek için yeni bir aygıt geliştirdiği zaman, ağır elementlerin yapımında hafif elementlerin fisyona uğraması sonucunda açığa çıkan enerjinin de sırrını çözmüştü. Aston'un kütle spektrografı (şimdi olsa "kütle spektrometresi" derdik) olarak adlandırdığı aygıt sayesinde izotopların keşfi mümkün olmuştu.

Aston tek tek izotopların kütlelerinin, hidrojen atomunun kütlesinin neredeyse tam olarak tam sayı katları olduklarını bulguladı. Tabii bu beklenen bir durumdu, çünkü Rutherford hidrojen çekirdeğini –proton– tüm çekirdeklerin yapıtaşı olarak belirlemişti. (O zamanlar nötron bilinmiyordu ama çıkarsanabiliyordu.) Peki ama neden *neredeyse* tam olarak? Aston kütlelerin arasında küçük ama önemli uyuşmazlıklar tespit etmişti. Örneğin, helyum atomu dört hidrojen atomundan yalnızca biraz daha hafifti. O halde, eksik kütle nereye gitmişti?

Aston bunun enerjiye dönüşmüş olduğunu anladı: Nükleer parçacıkları bir arada tutan enerji. En nihayetinde, Einstein kütle ve enerjinin birbirlerine dönüştürülebileceklerini göstermişti. Aston, Einstein'ın ikonik denklemini bu bağlayıcı enerjiyi hesaplamak için kullandığında, kütledeki bu küçük azalmanın füzyon reaksiyonuyla hidro-

jen atomlarının helyuma dönüşmesi esnasında çok yüksek miktarlarda bir enerjinin açığa çıkması gerektiğine işaret ettiğini gördü. Şöyle demişti: "Bir bardak sudaki hidrojeni helyuma dönüştürmenin sonucunda çıkan enerji, *Queen Mary*'nin Atlantik'i tam yol gidip gelmesine yetecek kadar çoktur."

Aston bu nükleer füzyon sürecini kontrol altına alabilme olasılığını muazzam bir fırsat ve ayrıca büyük bir tehlike olarak görüyordu. "Elimizden gelen tek şey, insanlığın bunu komşusunu havaya uçurmak için kullanmamasını ümit etmek," demişti.

Fransız fizikçi Jean Perrin bunun aynı zamanda Güneş'e de dört buçuk milyar yıldır hiç durmadan yakıt sağlayan enerjiyle aynı olduğunu ileri sürdü. Astronom Arthur Eddington da 1920'de bu görüşü şu sözlerle destekledi: "Cavendish Laboratuvarı'nda şimdilik bir olasılıktan ibaret olan süreç, Güneş'te gayet kolay gerçekleşiyor olmalı." Bu düşünce, Amerikalı astronom Henry Norris Russell 1929'da Güneş'in ana unsurunun hidrojen olduğunu kanıtladığı zaman geçerlilik kazandı.

Güneş'in yakıtı hidrojendir ve Güneş de bunu "yakar", ancak Cavendish ve Lavoisier'nin 1779'larda yaptığı gibi kimyasal olarak oksijenle birleştirerek değil, çekirdeğini füzyon reaksiyonuna uğratıp helyuma dönüştürerek yapar. Ancak, hidrojen çekirdekleri yalnızca protonlardan oluşur, öte yandan, helyum çekirdeklerinde nötron da vardır. Peki, bu nötr parçacıklar nereden gelmişti?

Bunlar bir çeşit ters beta bozunumuyla oluşurlar: Bir proton bir nötrona dönüşür. Bunun olabilmesi için de pozitif yükünden kurtulması gerekir ve bu da *pozitif* yüklü bir

elektron versiyonunun salınımıyla gerçekleşir: Pozitron, ki bu da elektronun antimadde kardeşidir.*

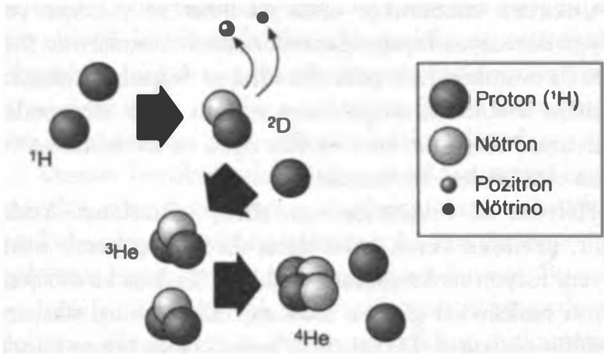
Hidrojen füzyonunun ilk adımında iki proton birleşerek bir *dötron* ve bir pozitron oluştururlar. Dötron bir hidrojen izotopunun çekirdeğidir: Ağır hidrojen ya da döteryum. Bir proton ve bir nötrondan oluşur.

İkinci adımda ise bir dötron bir protonla birleşir ve helyum-3 çekirdeği oluşur; bu çekirdek de iki proton ve bir nötrondan oluşur. Daha sonra, iki helyum-3 çekirdeği birleşir ve iki proton atarak helyum-4 oluşturur (Resim 11). Güneş'teki hidrojenden helyuma dönüşümün %85'i de bu nükleer reaksiyon dizisinin eseridir; geriye kalan füzyon süreçleri başka şekilde gerçekleşir. Güneş'te her saniye yaklaşık 600 milyar kilo hidrojen helyuma dönüşür. İngiliz yazar Ian McEwan bu süreci şöyle ifade etmiş: "Evrende, biz ve tüm düşüncelerimiz dahil, maddenin çokluğunun ve çeşitliliğinin oluşmasının ilk adımı."

Hidrojende füzyonun tetiklenmesi için gereken tek şey yeterince uç koşullardır: Yeteri kadar yüksek yoğunlukta hidrojen ve yaklaşık on milyon derecelik bir ısı. Yani füzyon *termonükleer* bir süreçtir ve ürettiği ısıyla da kendi kendini idame ettirir.

1939'da, Hans Bethe düşük miktarlarda karbonun, hidrojenin helyuma dönüşmesine yardımcı olabileceğini (katalize edebileceğini) gösterdi. Karbon, sonucunda ilk başladığı yere dönen altı adımlık döngüsel bir süreç içinde,

* İngiliz fizikçi Paul Dirac'ın 1930'da öngördüğü antimadde, normal maddeyle karşılaştığında kendi kendini yok eder ve kütleler kuvvetli bir gama ışını patlamasına dönüşürler.



Resim 11. Güneşteki hidrojen atomlarında gerçekleşen füzyon, reaksiyon helyum-4 oluşturur ve muazzam boyutlarda enerji açığa çıkarır.

karbon nitrojen ve oksijenle karşılıklı bir dönüşüme girer. Buna karbon döngüsü ya da KNO döngüsü (sürece dahil üç elemente istinaden) denir. Güneş'ten daha büyük olan yıldızlarda füzyon enerjisinin önemli bir kısmını bu katalitik döngü sağlar.

Ne var ki, yıldızların kimyası salt bundan ibaret değildi. 1957'de, Margaret ve Geoffrey Burbidge, William Fowler ve Fred Hoyle adlı astronomlar, bir yıldızın ömrünün farklı evrelerinde tetiklenen ve giderek daha ağır elementler yaratan bir dizi füzyon reaksiyonu gerçekleştiğini ileri sürdüler. Bir yıldız, sahip olduğu hidrojenin çoğunu helyuma dönüştürdükten sonra artık soğumaya başlar. Daha sonra, yıldızın çekirdeği kendi çekim kuvvetiyle içe doğru çökmeye başlar ve bu da onu ısıtır. Çıkan ısı kırmızı bir parlaklıkla atmosfere dağılır. Yıldız kırmızı bir deve dönüşür.

Çekirdek büzüldükçe daha da ısınır ve yaklaşık yüz milyon dereceye ulaştığında artık helyum atomlarının füzyonu da mümkün hale gelir. Bu süreçte de karbon, oksijen ve neon üretilir. (Süreçte mevcut olan diğer elementler berilyum, boron, nitrojen ve flor daha az kararlıdırlar ve başka elementlere bozunurlar.)

Helyum da tükenince aynı süreç tekrarlanır. Yıldız soğur, çekirdek kendi içine daha da fazla çökerek ısınır ve yeni füzyon reaksiyonları ateşlenir: Karbon ve oksijen, füzyon reaksiyona girerek sodyum, magnezyum, silisyum ve sülfür oluşturur. Bu sarsıntılı ve istikrarsız fırının içinde adeta bir Periyodik Tablo geçişi yaşanır.

Görünen o ki, Norman Lockyer ve William Crookes genel bir açıdan haklıydılar: Yıldızlar elementlerin evrimine sahne oluyorlardı. Elementlerin yıldızlarda oluşmasına nükleosentez denir ve Dünya ile üzerinde gördüğümüz hemen her şey bu şekilde oluşmuştur. Bir tek hidrojen, biraz da helyum ve cüzi oranlarda diğer hafif elementler "ilksel"dir – Büyük Patlama'nın ürünleri. Geriye kalan her şey yıldızlarda oluşmuştur.*

Yıldızın çekirdek ısısı yaklaşık üç milyar dereceye ulaştığında füzyon süreci demir üretmeye başlar. Füzyon reaksiyonlar işte burada durur, çünkü demir en kararlı çekirdeğe sahiptir. Demir çekirdeklerine füzyon uygulandığında

* Aslında tam olarak her şey değil. Hafif elementler lityum, berilyum ve boron ağırlıklı olarak yıldızlararası uzayda kozmik ışınların ve diğer yüksek enerjili parçacıkların çarptığı daha ağır çekirdeklerin parçalanmasıyla oluşmuşlardır. Çekirdekleri daha hafif elementlere azaltan bu sürece spalasyon denir. Yıldızlardaki nükleosentez bu üç elementten çok az miktarda üretir.

ortaya bir enerji çıkmaz. Gene de daha ağır elementlerin var olduğu da aşikâr. Bunlar yıldızın daha dış çeperlerinde oluşurlar; çekirdekler burada füzyon reaksiyonlarıyla salınan nötronları yakalar ve bizmuta (atom numarası 73) varana kadar tüm elementler bu şekilde oluşurlar.

Devasa büyüklükteki yıldızlar öldükleri zaman bu elementler evrenin her yerine dağılırlar. Artık yakacak yakıt kalmadığında yıldızın çekirdeği bir kez daha içe doğru çökmeye başlar ve bu kez süreç hiç sonlanmaz. Bu çöküş nedeniyle oluşan bir şok dalgası olağanüstü bir patlamaya yol açar: Bir süpernova. Patlamayla yıldızın dış katmanları uzaya dağılır ve bu esnada açığa çıkan enerji yeni nükleosentez reaksiyonlarını tetikler ki bu reaksiyonlar da bizmutun ötesindeki ağır metalleri oluştururlar – uranyum ve en azından biraz daha ötesindekiler.

Fermi ve Teller, 1942'de, hidrojen füzyonunun uranyum fisyonundan çok daha büyük bir nükleer enerji açığa çıkarabileceğini anladılar. Tek mesele, hidrojenin nasıl yeteri kadar sıcak ve yoğun kılınabileceğiydi. Doğrusu, Güneş'teki füzyonu olanaklı kılan bu yükseklikteki ısılara ulaşmak pratikte pek mümkün değildi. Ancak, hidrojenin daha ağır izotoplarının –döteryum ve trityum– füzyonu için bu kadar uç noktalar gerekmez. Bu noktadan hareketle ortaya çıkan şey de "süper bomba" olur – hidrojen bombası.

H-bombalarındaki füzyon, uranyum ya da plütonyumdaki zincirleme bir fisyon reaksiyonuyla ateşlenir: Hidrojen bombasını meydana getirmek için bir "atom bombası" kullanılır. İlk hidrojen bombası testi 1952'de, Pasifik'teki Marshall Adaları'nda, Eniwetok resiflerinde gerçekleştiril-

miştir. Oppenheimer'in teolojik tasalarından azade olan bu teste "Mike" gibi alelade bir ad verilmişti. *Little Boy*'dan binlerce kat daha yıkıcı olan bu bomba, üzerinde infilak ettiği adayı buharlaştırmış ve yaklaşık 3 km. çapında ve 1 km. derinlikte bir krater açmıştı. ABD ve SSCB ise ilerleyen yıllarda bu düzenekten binlercesine daha ihtiyaçları olduğuna karar verdi ki bu kadar bombayla tüm dünyayı birkaç kez yok etmek mümkündü.

Elementlerin üretimi

Neyse ki, 1950'lerde ve 1960'larda yapılan nükleer testler sayesinde, artık tespit edilebilir plütonyum yalnızca iz miktarlarda –sadece birkaç atom– ve Dünya üzerindeki insanların bedenlerinde bulunuyor. Bu kadar düşük miktarlar insan sağlığı için bir tehlike yaratmasa da, plütonyum yutmak her halükârda oldukça zararlıdır: Kemik iliğine sızdıktan sonra oluşan alfa ışınımı nedeniyle hücreler tahrip olabilir ya da kanser başlayabilir.

Fakat kimyacılar açısından hidrojen bombası testlerinin sonuçları gayet olumluydu. Mike testinde hazır bulunan bilim insanları, yakınlardaki bir resifte radyoaktif atık bulaşmış mercanları toplayıp analiz için Berkeley'e yolladılar. Burada nükleer kimyacılar atom numaraları 99 ve 100 olan iki yeni element keşfettiler. Yeni elementler yüzyılın en yaratıcı iki fizikçisinin ardından aynştaynyum ve fermiyum olarak adlandırıldılar.

Periyodik Tablo'da plütonyum (element 94) ile aynştaynyum (element 99) arasında birkaç boşluk var. Ancak,

Berkeley araştırmacıları, siklotronu kullanarak ağır çekirdekleri yakalandıkları zaman nükleer kütleyi artıran parçacık bombardımanına tutmak kaydıyla bu kısmı 1952'den önce zaten doldurmuşlardı. 1944'te, Glenn Seaborg, Albert Ghiorso ve Ralph James, bu yolla 95 ve 96 atom numaralı elementleri yaptılar. Savaş bitene dek gizli tuttukları bu elementlere sırasıyla amerikyum ve küriyum adlarını verdiler.

Seaborg, Ghiorso ve diğerleri bu yolda devam ederek 1949'da berkelyumu (element 97) ve 1950'de de kaliforniyumu (element 98) yaptılar. *New Yorker* dergisi, ekibe bu iki elemente "*universitium*" ve "*offium*" adını vermiş olsalar ve daha sonra gelecek iki elemente de berkelyum ve kaliforniyum deseler daha hoş olmaz mıydı diye kinayeli bir soru yöneltmişti. Berkeley ekibi de, bu yarışta element 99 ve 100'ü bulup bunlara "newyum" ve "yorkyum" adını verecek bir New Yorklu'ya yenilmek istemedikleri için böyle yaptıkları cevabını vermişti.

Gerçi bu açıklamanın ciddi bir tarafı da yok değildi. 1950'lere gelindiğinde, parçacık hızlandırıcılarda nükleer bombardıman kullanarak element üretme tekniği artık sadece Berkeley'e özgü değildi. Öte yandan, Berkeley radyokimyacıları 1955'te element 101'i de yaparak yarışı önde götürmeyi sürdürdüler. Artık ürkütücü bir hızla genişlemekte olan Periyodik Tablo'da daha önce mendelevyumla ölümsüzleşen Dimitri Mendeleyev bu manzara karşısında sevinç mi yoksa kaygı mı duyardı bilinmez, ama bu yarış element 102'nin üretilmesiyle tartışmalı bir nihayete erdi. 1957'de, Stockholm'den bir grup element 102'yi bulduğunu iddia etti ve İsveçli Alfred Nobel'in adından hareketle, yurtsever bir duyguyla buna nobelyum adını verdi. Ne var

ki, diğer element üreticileri bu iddiaları doğrulayamamıştı ve element 102'yi 1958'de asıl yapanlar Ghiorso ve ekibi olmuştu. Aynı yıl, Dubna'daki Birleşik Nükleer Araştırma Enstitüsü'ndeki (JINR) Rus bir ekipten de benzer bir haber geldi. O sırada kimse elemente İsveçli bir ad verilmesine karşı çıkmamıştı ancak bu durum değişecekti.

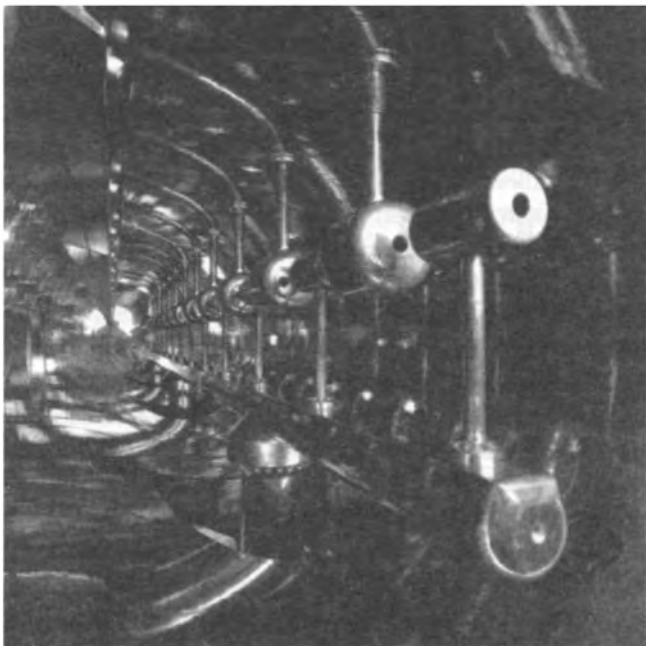
Yeni "süper-ağır" elementler üretme yarışı 1960 ve 1970'lerde daha da kızıştı. Bir grubun iddialarına bir başka grup karşı çıkıyor ve elementleri adlandırma işi giderek milliyetçi ve tartışmalı bir mesele haline geliyordu. Kâşiflerin elementlerine ad verme hakkı kazanması için, terminoloji konusunda son söz sahibi Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği'nin (IUPAC) onayının alınması gerekiyordu. Lawrence element sentezleme aygıtının bizzat mucidi olduğundan, element 103'ün lorentiyum olarak adlandırılmasına tabii ki pek kimse itiraz edemedi. Ve yüzyılın en büyük nükleer fizikçilerinden birini onurlandırmak için element 104'e Berkeley kökenli rutherfordiyum denmesi de gayet yerinde gibiydi. Ancak, şu da var ki, 1964'te, yani beş yıl öncesinde Dubna'daki Rus ekip de element 104'ü bulduğunu iddia etmiş ve nükleer araştırma biriminin yöneticisinin adından yola çıkarak buna kurçatovyum adını vermek istemişlerdi. Amerikalılar Rusların sonuçlarına itiraz ettiler. Benzer tartışmalar daha sonra 105, 106 ve 107 numaralı elementlerin keşfine ve adlandırılmalarına da sıçrayacaktı. IUPAC, 1987'de, ilk keşfi kimin yaptığını ve adlandırma hakkının kime ait olduğunu tespit edebilmek için bir çalışma grubu oluşturmak gerektiğine karar verdi. Ne var ki, 1994'e gelindiğinde bu insan yapımı yeni elementlere ne ad verileceği konusu hâlâ bir muammaydı.

Özellikle element 106'nın durumu epey karışıktı. 1974'te önce Dubna ekibi ve hemen ardından kanıtları çok daha elle tutulur olan Berkeley ekibi bir iddiada bulunmuştu. 1993'te iddialarının çok daha sağlam olduğunu belirten Amerikalılar IUPAC'ı tatmin etmeyi başardı ve Albert Ghiorso önderliğindeki ekip yeni elementin adı için ilk yapay elementin kâşifinin adından hareketle seaborgiyum önerisinde bulundu.

Yalnız bir sorun vardı: Glenn Seaborg her ne kadar artık aktif olarak nükleer kimya alanında çalışmasa da hâlâ hayattaydı. IUPAC yeni elemente yaşayan birinin adının verilemeyeceği konusunda diretiyordu. IUPAC'ın bu kararına Amerikan Kimya Derneği isyan etti ve Ghiorso'nun seçimini onayladı. 1996'da IUPAC insafa geldi ve 104'ten 107'ye kadar tüm elementlerin adını yeniden değerlendirmeye aldı. 104'ün adı Rutherford'un anısına verildi; Ruslar da çabalarının karşılığını element 105'le (dubniyum) aldı; 106 için seaborgiyum adı kabul edildi ve 107 de Niels Bohr'un adından yola çıkarak bohriyum olarak adlandırıldı. Ne yazık ki, Frédéric ve Irène Joliot-Curie ile Otto Hahn'a ölümlerinin ardından Periyodik Tablo'nun element gök kubbesinde bahşedilen ve çok kısa süren o şeref ("joliotyum" ve "hahniyum" olarak) geri alınacaktı.

Kararlı bir adanın izinde

Bohryum, element üreten yeni bir ekibin daha sahneye çıkışının habercisi oldu. Bu ekip, 1980'lerin başından itibaren bu alanın hâkimi olarak kalacaktı. Almanya'nın



Resim 12. Darmstadt, Almanya'da, Ağır İyon Araştırma Enstitüsü'nde (GSI), yeni süper-ağır elementler yapmak için atom çekirdeklerinin füzyonunda kullanılan parçacık hızlandırıcı. GSI ekibi 107'den 112'ye kadar tüm elementleri bu donanımı kullanarak yaptı.

Darmstadt kentindeki Ağır İyon Araştırma Enstitüsü'ndeki (GSI) nükleer fizikçiler, Dubna'da araştırılan, fakat daha sonra terk edilen yeni bir yaklaşımı mükemmelleştirdiler. GSI grubu kütleyi azar azar artırmak için büyük çe-

kirdeklere alfa parçacıkları gibi küçük ve hafif çekirdekler (helyum çekirdekleri) ateşlemek yerine, yeni süper-ağırlar yapmak için iki orta boy çekirdeği füzyonladı (Resim 12). Örneğin, hızlandırılmış nikel ve çinko bir çubukla kurşun bir hedefi bombardımana tuttular. Daha önceki yöntem yeni çekirdeğin nötron salarak "soğuması"nı gerektirdiği için "sıcak füzyon" olarak adlandırılıyordu. Bu yöntemde ise yeni çekirdeklerde geriye fazla bir enerji kalmadığı için "soğuk füzyon"* ifadesi kullanıldı. Dubna ekibi 1970'lerde fermiyum ve rutherfordiyumu bu yolla yapmıştı.

GSI'da bohryumun yapıldığı 1981 ile 1996 arasında, Alman ekip 107'den 112'ye dek tüm elementleri üretmeyi başardı. (Element 110'un daha önce hem Dubna'da hem de Berkeley'de yapıldığı iddiaları olsa da, yeteri kadar ikna edici değillerdi.) Element 108'e Darmstadt kentinin de bulunduğu Almanya'nın Hesse bölgesinin adından hareketle hassiyum denildi. Element 109'a ise, uranyumun nükleer fisyona maruz kaldığını ilk fark eden kişi olan Lise Meitner anısına metneriyum adı verildi. Diğer yeni elementlerin adları ise daha sonra verilecekti.

Bu süper-ağır elementler ağırlık kazandıkça daha kararsız hale gelir ve çekirdeklerin radyoaktif bozunum başlamadan önceki ömürleri de giderek kısalır. Plütonyum-239'un "yarı-ömrü" 24,000 yıldır; yani, bir ^{239}Pu numunesindeki atomların bozunması için bu kadar yıl

* Bunu, 1989'da, Utah'daki kimyacıların elektroliz bir hücredeki ağır sudan başka bir şey kullanmadan, "soğuk füzyonla" döteryumu bulduklan iddiasıyla karıştırmamak lazım. Bu soğuk nükleer füzyon iddiası daha sonra çürütülecekti.

geçmesi gerekir. Kalifomiyum-249'un (element 98) yarı-ömrü 350 yıldır; mendelevyum-258'in (element 101) 51 gün ve seaborgiyum-266'nın (element 106) 21 saniyedir. Element 111'in izotop 272'sinin uçucu varlığının yarı-ömrü 1,5 milisaniyeyken, 1996'da yapılan element 112'nin izotop 277'sinin yarı-ömrü bir milisaniyenin üçte birinden bile daha azdır. İşte, süper-ağır elementler üretmenin ve gözlemlemenin giderek zorlaşmasının nedeni tam da budur.*

Gelgelelim, nükleer bilimciler artık büyük çekirdeklerin giderek kararsızlaşmalarının kaçınılmaz bir durum olmadığını da fark etmiştiler. Kararlılık derecesi çekirdeklerdeki proton ve nötron sayısına göre azalıp artabiliyordu.

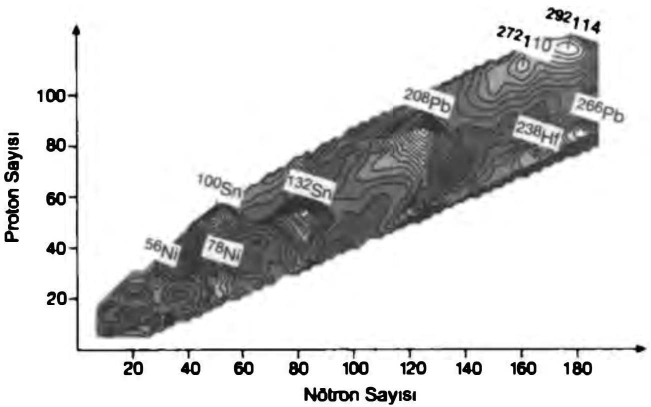
Bu temel parçacıklar çekirdekte eşmerkezli "kabuklar" içinde bir düzen içine girerler – elektronların kabuklar halinde çekirdek çevresinde dizilmeleri gibi (bkz. s. 125). Nasıl ki elektronlarla dolu bir kabuk gayet kararlı ve inert bir element (soy gazlarda olduğu gibi) yapıyorsa, proton veya nötronlarla dolu kabuklar da bir çekirdeğin kararlı davranmasını sağlayabilir. Helyum, oksijen, kalsiyum, kalay ve kurşun elementleri, protonlarla dolu (sihirli sayıda oldukları söylenir) birer dış kabuğa ve dolayısıyla çekirdekleri de alışılmadık bir kararlılığa sahiplerdir. Bir çekirdekte nötronlarla dolu bir kabuk da olabilir ve kurşun-208 izotopu hem protonlardan hem de nötronlardan oluşan bir "sihirli" sayıya sahiptir – hatta buna çifte sihir de denebilir.

* Plütonyumda ^{239}Pu'dan daha uzun ömürlü bir izotop vardır ve daha büyük bazı süper-ağır elementlerin de burada belirtilenden daha uzun ömürlü izotopları olabilir. Her koşulda, ne tür bir eğilimde oldukları gayet açık.

Element 114'ün 184 nötrona sahip bir izotopunun da bir diğer çifte sihir özellikli çekirdek olduğu öngörülür ve buna bağlı olarak süper-ağır çekirdeklerin âleminde bir "kararlılık adası"nın tam ortasında bulunduğu düşünülür (Resim 13). Nükleer bilimciler bunun yarı-ömrünün ancak birkaç yıl olabileceği tahmininde bulunurlar.* O nedenle, element 114, element üretenler için bir çeşit Kutsal Kâse'ye dönüşmüş durumda. Kararlı olduğu ortaya çıkarsa, bu, araştırmacıların giderek daha ağır ve kararsız hale gelen ve neredeyse anlık bir ömre sahip yeni elementlerin peşinde koşmaya mahkûm olmadıklarını gösterecek. Bir yerlerde hâlâ keşfedilmeyi bekleyen ve elinizle tutabileceğiniz (en azından teoride) elementler de olabilir tabii.

1999'da, Dubna ekibi ve Kaliforniya'daki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı arasında, Rus fizikçi Yuri Oganessian önderliğinde yürütülen bir işbirliği sonucunda, temkinli bir tutumla element 114'ün gözlemlenmiş olabileceği açıklaması yapıldı. Ekip, bu elementi yapmak için, plütonyum-244'ü bir siklotronla hızlandırılan kalsiyum-48 iyonları bombardımanına tuttu. Element 114'ün tek bir atomu yaklaşık 30 saniye sonra element 112'ye bozunuyordu. Bu süre bir ömür olmasa da, en azından bir milisaniyenin üçte birinden çok daha fazlaydı. Ayrıca, en nihayetinde,

* Ne var ki, tüm bunlar belirsizliğini korur. Şimdilerde element 114'ün gelişmiş kararlılığı bir adaya değil de dar bir kıstak üzerinde daha hafif ve kararlı elementlerin bulunduğu bir yarımadaya bağlıymış gibi duruyor. 184 nötronuyla "çifte sihirli" element 114'ün ömrüne dair tahminler de değişkenlik gösteriyor. Üstelik, bazı kuramcılar 114'ün "sihirli" bir proton sayısı olmayabileceğine, bir sonraki sihirli sayının 126 olabileceğine inanıyorlar. Şu satırlar yazılırken bile manzara hızla değişiyor.



Resim 13. 184 nötronlu element 114 izotopunun çekirdeklerindeki "sihirli sayıda" proton ve nötronlardan dolayı özellikle kararlı olduğu öngörülüyor. Bu element, atomaltı nükleer parçacıkların olası kombinasyonlarından oluşan bir denizin ortasında duran bir "kararlılık adası"nın üstünde oturuyor olabilir. Burada koyu renk hatlarla belirlenmiş ve "yüksekliği" arttıkça kararlılık dereceleri de artan diğer adalar, kurşun ve kalayın bazı izotopları gibi daha hafif elementler için geçerlidir.

oluştuğu varsayılan izotop da çifte sihirli değildi; tam dolu bir kabuktakinden dokuz eksikle yalnızca 175 nötron barındırıyordu – yani gelişim gösterebilirdi. Berkeley'nin kıdemli nükleer kimyacısı Albert Ghiorso bu haberi şu sözlerle karşıladı: "Başımıza gelebilecek en heyecan verici olay."

Dubna araştırmacıları element 114'ün yeniden gözlemlenebilir bir şekilde sentezlenebilmesi için aylarca başarısız denemeler yaptılar. Fakat, bu ısrarları en nihayetinde meyvesini verdi ve element 114'ün 174 nötronlu

ve birkaç saniye ömürlü farklı bir izotopunu gözlemlemeyi başardılar. Bu kez araştırmacılar iki ayrı bozunum hadisesi olduğunu gördüler ki bu da yapılan deneyi daha da sağlamlaştırdı. Bu sonuçtan aldıkları cesaretle, hedef materyali kaliforniyum-248'le değiştirdiler ve element 114'e alfa salınımıyla bozunan element 116'yı elde ettiler.

Peki, bu varsayımsal kararlılık adasının tam merkezine, yani element 114'ün çifte sihirli izotopunun bulunduğu yere nasıl ulaşılabilirdi? Bunun için çekirdeğe daha fazla nötron tutturmak gerekiyor ki bunun nasıl yapılabileceğini henüz kimse bilmiyor.

Tek-atom teorisi

Periyodik Tablo bilinmeyen sulara doğru adım adım genişledikçe hiç şüphesiz başka elementler de gelecek. Ve bu esnada bu yeni elementlerin nasıl davrandıklarını da öğreneceğiz. 1997'de, GSI, Berkeley ve Dubna'dan gelen bilim insanlarından oluşan uluslararası bir ekip, element 106'nın (seaborgiyum) molibden ve tungstene benzer kimyasal özellikler taşıdığını çıkarsadılar. Seaborgiyum Periyodik Tablo'da bu elementlerin altında yer aldığı için, bu, beklenmeyen bir durum da değildi. Ne var ki, sonuç aslında gayet şaşırtıcıydı, çünkü daha önce gelen 104 ve 105 atom numaralı süper-ağır elementlerin davranışları, yoğun çekirdeklerin çevresini saran elektronlardaki görelilik etkisiyle sapmalar göstermişti.

Nesneler ışık hızına yakın hızlarda yol aldıklarında, Einstein'ın görelilik teorisi uyarınca, kütlelerinde de bir

artış olur. Çok ağır elementlerde, elektronlar, aşırı yüklü çekirdekler çevresinde öylesine dar yörüngeler izlerler ki bu tür bir "görelilik" uyarınca kütlelerinde değişiklik gerçekleşmesini sağlayacak kadar yüksek hızlara çıkabilirler. Bu da elektron dizilimlerinde ve dolayısıyla elementin kimyasal özelliklerinde değişime yol açar – tabloda söz konusu elementin üstünde yer alan elementlerin özellikleriyle olan uyumu da bozulur. Seaborgiyumda görelilik kaynaklı güçlü etkilerin bulunmayışı, bu yeni elementlerin nasıl davrandıkları konusunda tahminlerde bulunmamızın ve onu anlamlandırmamızın çok kolay olmayacağını gösteriyor.

Kimyacılar bu tür bilgiler toparlamak için neredeyse yok denecek kadar az miktarlarda örneklerle çalıştıkları için, kullanılan analiz tekniklerini sürekli geliştirmek zorundaydılar. Seaborgiyum üzerinde çalışan araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara bozunma başlamadan çok kısa bir süre önce, yalnızca *yedi atom* üzerinde tertipledikleri kimyasal reaksiyonlarla ulaşmışlardı. Berkeley ekibi ve diğerleri şimdilerde element 107 ve ilerisindekilerin kimyasını çözmek için uğraşıyorlar.

İlk element avcıları çoğu zaman mikroskopik ölçülerdeki materyallerle çalışmak zorunda kalırlarken, Periyodik Tablo'nun bugünkü öncülerinin işi katbekat zor: Sentetik elementlerin özellikleri atom atom belirlenmek durumunda.

VI. Bölüm

KİMYASAL KARDEŞLER: İZOTOPLARIN FAYDALARI

İlk bakışta bir felaketle karşı karşıya olduklarını düşündüler. Buzul kesiti içine gömülü bir ceset bulunmuştu. Feci bir dağcılık kazasından başka ne olabilirdi ki? Ölü adamın başının arkasında açık seçik görülebilen yara izi düşünüldüğünde ise sanılandan çok daha tekinsiz bir olayla karşı karşıya olabilirlerdi. Her halükârda, Avusturya ve İtalya sınırındaki Alpler'de, 19 Eylül 1991'de bir yürüyüşe çıkan Helmut ve Erika Simon'u yaptıkları bu keşif bir hayli tedirgin ediciydi.

Oetz Vadisi'ndeki Hauslabjoch geçidinde bir ceset bulunduğu bilgisini alan Avusturya jandarması, ilk etapta bunun sezon itibariyle artan buzul yarığı kazalarından biri olduğunu düşündü. Ancak, bu sıradan bir ceset değildi: Kayış gibi olmuş derisi bütünlüğünü neredeyse tamamen muhafaza etmişti ve çürümeden kaynaklı herhangi kötü bir koku da yoktu. Ve hemen yakınında garip bir alet de bulunmuştu: Kızıla çalan metal bıçağıyla bir çeşit ilkel baltaydı bu.

Bu ceset belki de 1938'de aynı bölgede kaybolduğu bildirilen ve o günden beri de bulunamayan bir İtalyan müzik profesörüne aitti. Ama o da değildi; çünkü müzik profesörünün mezarının yakınlarda bir kasabada bulunduğu çok geçmeden anlaşılmıştı. Innsbruck'da olayı soruşturan adli tıp uzmanları en nihayetinde bunun arkeologları ilgilendiren bir bilmece olduğunu kavradılar. Ceset buzulun içinde, değil onlarca yıl, belki de bin yıldır bozulmadan korunmuştu. Oetzi adı verilen bu adam, araştırmacılara göre, binlerce yıl önce ölmüştü.

Başlangıçta yanında bulunan ve bronz gibi görünen balta bıçağından yola çıkarak onun MÖ 2000'ler civarında, Bronz Çağı'nda yaşamış olduğunu düşündüler. Ancak Oetzi'nin gerçek yaşını belirlemek için bu tür varsayımlar değil, bilimsel bir ölçüm tekniği kullanılmıştı. Radyokarbon tarihlendirme tekniği onun çok daha önce, MÖ 3300'lerde öldüğüne işaret ediyordu. Balta bıçağı da bronz öncesi bir döküm yöntemiyle işlenmiş bakırdı. Bakır yumuşak olduğu için alet yapımında pek tercih edilmemiş olduğu düşünülürdü. Oetzi'nin baltası ise bu önyargıyı sarsmıştı.

1940'larda, radyokarbon tarihlendirme tekniğinin icadıyla arkeoloji bir dönüşüm geçirmişti. Bu yöntem sayesinde organik olan hemen her madde –mumyalanmış bedenler, tahta objeler, derin-deniz tortulları– 500 ila 30,000 yıl geriye gitmek kaydıyla genellikle gayet kesin bir biçimde tarihlendirilebilir hale geldi. Bu tam da çoğu arkeoloğun araştırdığı bir zaman dilimine tekabül ediyordu – sağlam tarihsel kayıtlardan öncesi fakat insan topluluklarının ortaya çıkışından sonrası.

Radyokarbon tarihlendirme tekniği, karbonun doğal olarak pek çok izotop oluşumunda bulunması olgusuna dayanır. Bunların tümü kimyasal açıdan neredeyse özdeş olsalar da, özel analiz metotları sayesinde birbirlerinden ayrıştırılabilirler. Bir izotop, ki bu karbon-14'tür, bir element saati gibi işleyerek, canlı organizmalara ait karbon zengini materyallerin yaşını gösterebilir. Bu *izotoplar*dan –her elementte bulunan kardeş oluşumlar– pek çok şekilde faydalanan kimyacılar, jeologlar, medikal biyologlar ve diğer bilim insanları için radyokarbon tarihlendirme en değerli tekniklerden biridir.

Elementlerin toparlanması

İzotoplar, Dalton atom teorisini açıkladığı günden beri kimyacıların kafalarını kurcalayan bir bulmaca olagelmiştir. Dalton, bir atomun temel özelliğinin boyutu ya da şekli değil, ağırlığı olduğunu söylemişti. Her element hidrojene bağıl olarak belirlenmiş bir atom ağırlığına sahiptir. Prout, bu bağıl atom ağırlıklarının aşağı yukarı tam sayılardan oluşması (karbon 12,011, oksijen ise 15,999'dur) uyarınca, tüm elementlerin hidrojenden meydana gelmiş olabileceği tahmininde bulunmuştu. Mendeleyev, Meyer ve diğerleri, sabit olarak artan ağırlıklardan yola çıkarak, elementleri düzenleyen ve periyodik davranışlarını ifade eden bir çeşit dizin oluşturdular.

Ne var ki, manzaraya bakıldığında yerine oturmayan elementler de vardı. Örneğin, klorun bağıl atom ağırlığı 35,45'ti ve bu da ne 35'e ne de 36'ya yakındı. Dumas

bu durumdan yola çıkarak atomun temel yapıtaşının bir hidrojen atomundan daha küçük olabileceği sonucuna vardı. Peki ama 24,3 ve 28,4 gibi (Mendeleyev'in tekrar gözden geçirilmiş, 1902 tarihli, magnezyum ve silisyumun listelendiği tablosundaki durum) atom ağırlıkları olduğu düşünüldüğünde, bu yapıtaşı ne kadar ufalabilirdi ki? Dahası, Mendeleyev, orijinal tablosundaki periyodiklikleri sağlamak için, artan atom ağırlığı düzeninde telluryum ve iyotu dizine aykırı bir şekilde yerleştirmişti. Üstelik, kobalt ve nikelin atom ağırlıkları da aynı gibi görünüyordu!

Francis Aston tüm bunlara 1919'da "kütle spektrografi"nı kullanarak bir açıklama getirdi. Daha önceleri kimyacılar elementlerin ağırlığını ölçmek için her defasında trilyonlarca atom tartıyorlardı. Aston bu aygıtı kullanarak hareket halindeki atomları elektrik yüklü iyonlara dönüştürerek ve gezingelerini elektrik alanlarıyla bükerek tek tek kütlelerine göre ayrıştırma yoluna gitti. Bunun sonucunda, aynı elemente ait atomlarda bir dizi farklı kütle olduğunu ve bunların her birinin gerçekten de hidrojen atomunun kütlesinin tam sayı katı kütlelere sahip olduklarını bulguladı (ki bu aslında protonun kütlesiydi). Örneğin, sülfür atomları, hidrojenin 32, 33 ve 34 katı ağırlıkta kütlelere sahip olabilirlerdi.*

Kütle spektrografının icadının ardından gelen yirmi yıl içinde, Aston, tüm elementlerde doğal olarak bulunan

* Daha önce de gördüğümüz üzere, bu kütleler *bütünüyle* tam sayıda olmazlar. Aston'un aygıtı ağırlıkları gayet doğru ölçüyordu, ancak genellikle tam sayıda hidrojen atomlarında –bağıl kütle bazında– %1 oranında bir eksiklik çıkıyordu. Bu kayıp kütle çekirdekteki bağlayıcı enerjiye dönüştürülüyordu.

212 ve 281 izotoplarını saptamayı başardı. Bir elementin irice bir örneğinden yapılan atom ağırlığı ölçümlerinin, çeşitli izotop oluşumlarının bağıl oranlarına göre belirlenen ortalamalar olduğunu fark etti. Dolayısıyla, neonun atom ağırlığının 20,2 olmasının nedeni, dokuz parça neon-20 izotopu ile bir parça neon-22'den meydana gelmesiydi. Aston'un bu keşifleri ona 1922'de Nobel Kimya Ödülü'nü kazandırdı.

Bir elementteki tüm izotopların çekirdeklerinde aynı sayıda proton (ve yörüngelerinde aynı sayıda elektron) varken nötron sayıları farklıdır. Neon-20'de on proton (atom *sayısı* olarak 10) ve on nötron vardır; neon-22 ise on proton ve on iki nötron içerir. Bir izotopun *atom kütlesi*, çekirdeğindeki proton ve nötron sayılarının toplamı kadardır: Bu örneklerde sırasıyla 20 ve 22. Kimyacılar bir elementin belli bir izotopunu ifade etmek için, o elementin sembolünden önce, atom kütlesini belirten üslü bir sayı kullanırlar: ^{20}Ne, ^{22}Ne gibi.

Bir elementin kimyasal davranışını elektronları belirler: Elektron sayısı ve bunların nasıl bir kabuk yapıları olduğu. Elektronların konfigürasyonu bir elementin tüm izotoplarında aynı şekildedir – bir çekirdeğe fazladan nötron eklenmesinin elektronlar üzerinde ciddi bir etkisi yoktur. Dolayısıyla, bir elementin izotopları aynı kimyasal davranışları sergiler.

Yoksa öyle değil midir? Aslında, izotopların davranışları arasında zaman zaman küçük ama önemli sayılabilecek farklılıklar görülür. İki atom arasındaki kimyasal bir bağ, iki ağırlığı yaylı bir bağlantıyla tutturmaya benzer. Dolayısıyla, farklı izotopların atomlarında oluşan bağ titreşimle-

rinin frekansları ufak değişiklikler gösterir. Bu titreşimler bir bağın oluşmasının veya kırılmasının zorluk derecesini belirleyebildikleri için, bir elementin farklı izotop oluşumlarının kimyasal tepkiselliklerinde hassas değişiklikler görülür. Bu değişiklikler genellikle önem teşkil etmeyecek kadar azdır – ancak her zaman değil.

Kimyasal davranıştaki "izotop etkisi" esas olarak hidrojen için kullanılmış bir ifadedir. Bu elementin üç izotopu vardır: "Normal" hidrojen (^1H), döteryum (^2H, sıklıkla D olarak ifade edilir)* ve doğadaki oranı yaklaşık olarak %0,000015'tir; kararsız olan ve radyoaktif bozunuma uğrayan trityum vardır ve ^3H ya da T olarak ifade edilir. Döteryumun çekirdeğinde bir proton ve bir nötron bulunur; dolayısıyla, bir protona sahip sıradan hidrojenden iki kat ağırdır. Döteryuma "ağır hidrojen" denmesinin ve "hafif" hidrojen (D_2O) yerine ağırlıklı olarak döteryumdan oluşan suya da "ağır su" denmesinin nedeni budur.

Hidrojenin kütlesini ikiye katlamanın bağ titreşimleri ve bağ kuvvetleri üzerinde belirgin bir etkisi vardır.** Suyun sahip olduğu ve onu yaşam için şart kılan eşsiz özellikleri-

* Bir izotopa farklı bir kimyasal sembol verilmesi alışıldık bir durum değil ama döteryum ve trityum özel bir vaka kabul ediliyor.

** Sırf döteryum daha ağırkanlı olduğu ve dolayısıyla daha yavaş tepki verdiği için, döteryumun oluşturduğu bağların hidrojendekilerden daha güçlü olduğunu varsaymak cazip gelebilir. Ancak, bu durumdaki büyük izotop etkisi, kökleri kuantum mekaniğine dayanan daha incelikli ve karmaşık bir etkinin sonucudur. Esas itibariyle, daha hafif hidrojen atomu döteryuma oranla bir bağdan "tünel açmak" suretiyle çok daha rahat kurtulabilir ki bu da onun kuantum-mekanik ve dengesiz doğasını yansıtır. Diğer elementlerde bu tip kuantum etkileri nadiren belirgindir; hidrojende böyle olmasının nedeni, çok küçük ve hafif olmasıdır.

nin temelinde, hidrojen atomlarının su molekülleri arasında zayıf çekimler oluşturması yatar. Bu çekimlere hidrojen bağları denir. Ağır suda hidrojen bağları biraz daha kuvvetlidir ve bu da sıvının özelliklerini, suyun biyokimyasal süreçlerde yarattığı kayganlaştırıcı etkiyi bozacak ölçüde değiştirir. Dolayısıyla, ağır su güçlü bir zehirdir. Amerikalı kimyacı Gilbert Lewis, 1934'te, ağır suyla sulanan tütün tohumlarının çimlenmediklerini ve farelere çok az miktarlarda verildiğinde "belirgin zehirlenme emareleri" gösterdiklerini tespit etmiştir. Nadir ve değerli dötriyum çekirdekleriyle siklotron aygıtında deneyler yapmak için can atan Lawrence, Lewis'in bunu farelere verilebilecek bir şey olarak görmesinden son derece rahatsız olmuştu.

Karbon çağı

İzotoplar arasında belirgin bir fark varsa o da şu açıdan *olabilir*: Çekirdeklerinin kararlılığı. Sözgelimi, bir karbon atomunun çekirdeği, altı protonun yanına memnuniyetle altı ya da yedi nötron konuk edebilir; ne var ki, daha az veya daha çok nötron, çekirdekleri kararsızlaştıracak ve radyoaktif bozunum meydana gelecektir. Lawrence'ın parçacık hızlandırıcısında gerçekleştirdiği türde nükleer reaksiyonlar, kararlı çekirdekleri kararsız olanlara dönüştürebilir niteliktedir. Hatta karbon ve nitrojen gibi "iyi huylu" elementler bile bu şekilde radyoaktif ve tehlike arz edecek oluşumlara dönüştürülebilirler.

Aslında, Dünya'nın atmosferinde her dakika yaşanan bir durum bu. Atmosferin üst katmanları sürekli bir

kozmik ışın bombardımanına tutulur: Güneşteki nükleer füzyonlar gibi çok yüksek enerjili astrofiziksel süreçlerle oluşan ve süratle hareket eden atomaltı parçacıklar. Kozmik ışınlar atmosferdeki moleküllere çarptıklarında, nötronları dışarı fırlatan nükleer reaksiyonları tetiklerler. Bu nötronların bazıları havadaki nitrojen atomlarıyla reaksiyona girerler ve bunları karbonun radyoaktif bir izotopuna dönüştürürler: Her bir çekirdeğinde sekiz nötron bulunan karbon-14 ya da "radyokarbon". Bu karbon ise oksijenle reaksiyona girerek karbondioksiti oluşturur. Atmosferik karbondioksitte bulunan karbon atomlarının yaklaşık her bir milyonda biri ^{14}C'dir.

Karbon-14 bir beta parçacığı salarak bozunur ve bunu nitrojenin en kararlı izotopuna dönüştürür. Fakat, bunu yaparken acele etmez: ^{14}C'nin yarı-ömrü yaklaşık 5730 yıldır. Bu zaman ölçeği radyokarbonu arkeologlar için ideal bir araç yapar.

Canlı organizmalar her daim karbon kullanırlar. Bitkiler karbonu havadan çekip alır ve fotosentez yoluyla dokularına yerleştirirler. Hayvanlar da bitkilerin veya diğer hayvanların karbon bileşiklerini tüketirler. Yaşayan bir bedende karbon akışı olması, neredeyse aralıksız olarak ve çok düşük seviyede bir radyokarbon sürdürüldüğü anlamına gelir.

Bir organizma öldüğü zaman artık yeni karbon alımını durdurur ve barındırdığı radyokarbon, radyoaktif bozunumla birlikte azalmaya başlar. 5730 yıl önce ölen bir ağacın (yere devrilmiş diyelim) bir parçasında, yeni devrilmiş benzer bir ağaçta olanın yalnızca yarısı kadar radyokarbon bulunur. 11,460 yıl yaşındaki bir odun parçasında ise (bir şekilde korunduğunu varsayarsak) bunun çeyreği kadar

bir miktar olacaktır. Dolayısıyla, antik ahşap objelerdeki ^{14}C içeriği ölçülerek bunların yaşını bulmak mümkün olabilir. Aynı imkân kemikler, giysiler, kâğıt ve mağara resimlerinde pigmentleri bir arada tutan hayvansal yağlar söz konusu olduğunda da geçerli. Bu ölçümler Aston'un spektrografına benzeyen ve farklı karbon izotoplarını ayrıştıran bir kütle spektrometresinde gerçekleştirilir.

1947'de, Amerikalı kimyacı Willard Libby, ^{14}C'nin arkeolojik tarihlendirmelerde kullanılabileceğini fark etmişti. Libby, 1930'larda, Berkeley'de radyokimya eğitimi almış ve daha sonra da Manhattan Projesi'nde çalışmıştı. Savaşın ardından, Fermi'nin ilk nükleer reaktörü yaptığı ve Chicago'da bulunan Nükleer Araştırmalar Enstitüsü'ne katıldı. Libby ve çalışma arkadaşları, tarihlendirme tekniklerini Mısır mezarlarında bulunan ahşap ve odun kömürleri üzerinde test etti. Arkeologlar bunların yaşlarını zaten tarihsel analizlerle belirlemişlerdi ve çok yaşlı kızılağaçlar da yalnızca ağaç halkalarına bakılarak tarihlendirilebiliyordu. Buzul Çağı'nın sonu ve Kuzey Amerika'dan Irak'a dek pek çok farklı bölgedeki ilk insan yerleşimleri, Libby'nin tekniği kullanılarak tarihlendirildi. Radyokarbon tarihlendirme tekniğinin icadı Libby'ye 1960 yılında Nobel Kimya Ödülü'nü getirdi.

Radyokarbon tarihlendirme, çekişmeli arkeoloji ve tarih tartışmalarında artık çoğu zaman son sözü söyleyen bir hakem haline geldi. Çarmıha gerilen İsa'nın bedeninin sarmalandığı iddia edilen kumaş parçası olarak bilinen Torino Kefeni üzerinde yapılan incelemeler ise pek tatmin edici olmamıştı (Resim 14). Kefende kamçı ve çarmıha gerilme izleri taşıyan bir erkeğin çıplak vücudunun imgesi



Resim 14. Torino Kefeni'ne uygulanan radyokarbon tarihlendirmesine göre kumaş 3. ya da 4. yüzyıllarda üretilmişti.

vardı. 1970'lerde bilimsel bir incelemeye tabi tutulmuştu, ancak radyokarbon tekniği için o dönemlerde gereken materyal miktarı kabul edilemeyecek kadar fazlaydı.

1988'de, Arizona, Oxford ve Zürih'ten üç ekip ortaklığında hassas radyokarbon ölçümleri yapılarak, kefenin gerçek yaşını tespit etmek üzere, kumaştan her biri yalnızca 50 miligram ağırlığında olan üç küçük parça feda edildi. Elde edilen sonuçlar kumaşın çok yüksek bir ihtimalle MS 1260 ve 1390 yılları arasında yapıldığına işaret ediyordu. Kefen Ortaçağ'a özgü bir sahtecilik örneği gibi görünüyordu.

Torino Kefeni'ne atfedilen ikonik önem düşünüldüğünde, bu iddianın tartışma yaratması beklenmedik bir şey değildi. İtirazlara göre, kumaş zaman içinde küflenmişti, organik materyaller bakteri üretmişti ve 1532'de, Chambery'deki bir Fransız şapelinde çıkan yangın sırasında dumana maruz kaldığı için kontaminasyona uğramıştı. Gerçekten de bazı nesnelerin radyokarbon tarihlendirmelerini bu tür komplikasyonlar geçmişte geçersiz kılmıştı. Ayrıca, bu kumaştaki o izin nasıl yapıldığını ya da tarihsel ve anatomik açıdan nasıl bu denli kusursuz (Ortaçağ sanatçıları geleneksel olarak çivi izlerini İsa'nın ayalarında gösterirlerdi, oysa çarmıha geriliş sırasında çiviler bileklere çakılırdı) olabildiğini bugün dahi kimse açıklayamıyor. Bu da radyokarbonun kolay kolay çözemeyeceği türde bir gizem.

Evreni tarihlendirmek

Eğer ^{14}C'nin iki dakika ya da bir milyon yıllık bir yarı-ömrü olsaydı, o zaman arkeologların hiçbir işine yara-

mazdı. İki dakika olsa, organizma ölür ölmez yok olurdu; bir milyon yıl olsa, insanlık tarihi bakımından önem teşkil eden yüzlerce veya binlerce yıllık bir zaman ölçeğinde neredeyse hiç değişmeden kalırdı. Bilim insanlarının uzak geçmişe bakabilmeleri için daha yavaş bozunan radyoaktif izotoplara gereksinimi vardı.

Kayaç ve minerallerde bu türden pek çok izotop vardır ve jeologlar bunlardan faydalanarak gezegenin ilk insanların ortaya çıkışından çok daha öncesine uzanan tarihini yeniden inşa edebilirler. Jeokimyasal zaman ölçümleri bakımından en yararlı olanlar uranyum izotoplarıdır. Uranyum-238 yaklaşık 4,5 milyar yıllık bir bozunma yarı-ömrüne sahiptir ki bu da neredeyse Dünya'nın yaşıyla aynıdır. Bozunma aşamalarından birinde ^{238}U, toryum-230'a dönüşür.

Bu sonuca, bir özdekte uranyum bozunumu esnasında toplanan toryum-230 miktarının ölçüldüğü bir uranyum-toryum tarihlendirmesi tekniği vasıtasıyla ulaşılmıştır. Şayet söz konusu maddede oluşum esnasında hiç toryum yoksa, geriye kalan ^{238}U'nun, biriken ^{230}Th'ye oranı bize o maddenin yaşını verir. Bu arada tarihlendirilen maddenin, zamanı sıfırlayacak olan "taze" uranyum kaynaklarıyla da temas etmemiş olması gerekir. Örneğin, deniz seviyeleri düştüğünde, "fosil sahilleri"nde karaya oturan mercanlar ya da mağaralardaki dikit ve sarkıtlarda bu temas gerçekleşebilir. Odun ve fosil kemikler de bu şekilde tarihlendirilmişlerdir. Toryum-230 yalnızca 75,380 yıllık bir bozunma yarı-ömrüne sahip olduğu için, U-Th metoduyla 500,000 yıldan öncesine dair kesin bir tarihlendirme yapılamaz.

^{230}Th, bozunma sürecinde diğer elementlerin radyoizotoplarına dönüşmeye başlar ve en nihayetinde kararlı

kurşun-206 izotopuna dönüşür. Neyse ki, Dünya'daki zirkon adı verilen en yaşlı kayaçlar oluşumları esnasında hiç kurşun barındırmıyorlardı. Bu da zaman içinde uranyum bozunumuyla biriktirdikleri kurşuna bakarak yaşlarını hesaplamamıza olanak sağladı. Kayaçlar kristalleşmeye başlayana dek, uranyum atomları, onları oluşturan ergimiş magma içinde serbestçe hareket edebiliyor ve bozunan uranyum da yenilenebiliyordu. Bir organizmanın ölmesi radyokarbon için ne demekse, bir zirkonun katılaşması da uranyum için odur: Yeni radyoaktif madde girdisi sonlanır ve bozunma saati işlemeye başlar. ^{238}U'nun yarı-ömrünün uzun olması nedeniyle zirkonlar Dünya'nın ilk günlerine dek tarihlendirilebilirler.

Gezegenimiz, 4,5 milyar yıl önce, muhtemelen ufak çapta gezegen benzeri bir kütlenin çarpması sonucu koca bir magma topuna dönüştü ve kopan parçalardan biri de Ay'ı oluşturdu. Öte yandan, Batı Avustralya'da bulunan en yaşlı zirkonların 4,4 milyar yıl önce kristalleştiklerini ortaya koyan uranyum-kurşun tarihlendirmesi bize bu "magma okyanusu"nun ne denli çabuk bir şekilde soğuduğunu da gösteriyor. Dahası, bu antik zirkonların oluşum esnasında suyla temas ettiklerine dair işaretler de var ki bu da o dönemde bile Dünya'da okyanuslar bulunduğuna işaret ediyor.

Doğal uranyumun küçük bir oranı ^{235}U izotopundan oluşur. Bu da kurşun-206'ya değil, kurşun-207'ye bozunur. Jeologlar, kayaçlarda bulunan tüm bu uranyum izotoplarını ve kurşunu ölçerek, her çeşit minerali tarihlendirebilir ve hatta gezegenimizin oluşum tarihini de belirleyebilirler. Bazı göktaşlarının Dünya'nın oluşumu esnasında bi-

riken kayaçlardan artan kalıntılar oldukları düşünülüyor ve bunlar da bize bu kayaçlarda bulunan elementlerin bir karışımını gösteriyor. Eğer bu göktaşlarında uranyum bulunmuyorsa, bu durumda içerdikleri kurşunun da "ilksel" olması gerekir – uranyum bozunumu sonucunda oluşmaktan ziyade, daha en başta mevcut olması gerekir. Bilim insanları, bu tür göktaşlarında bulunan yaşlı kurşun cevherlerindeki izotop oranlarını karşılaştırarak, göktaşlarının yaşlarını hesaplayabilirler. Dünya ile aynı yaşta olduklarından, bunlar üzerinde yapılan ölçümlerle gezegenimizin oluşum tarihi saptanabilir. Bu doğrultuda, Dünya'nın yaklaşık 4,54 milyar yıl önce oluştuğunu söyleyebiliriz.

Amerikalı bilim insanı B. B. Boltwood, 1907 gibi erken bir tarihte, radyoaktif bozunumun bize Dünya'nın yaşını söyleyebileceğini açıklamıştı. O güne dek yapılan en yakın tahmin 98 milyon yıldı ki bunu da Lord Kelvin 1860'larda sıcak çekirdeğin ne kadar zamanda soğuduğunu hesaba katarak çıkarsamıştı.* Boltwood'un hesaplarına göre gezegen yaklaşık iki milyar yaşındaydı. Bunun iki katından fazla olan son tahmin değerleri ise, radyoaktif bozunum zincirinde "ebeveyn" ve "kız ürün" izotopların bağıl miktarlarını inceleyen bir dizi "radyometrik" metotla da desteklenmiştir.

Kayaçların jeolojik tarihlendirmelerinde, içlerinde samaryum-147/neodimyum-143, rubidyum-87/stronsiyum-87

* Öte yandan, Ernest Rutherford, 1906'da, birçok uranyum cevherinin yaşını kestirmek için uranyumun helyum üreten alfa bozunumunu kullandı. Helyumun uranyuma oranını ve helyum üretiminin mevcut hızını (yani uranyumun o andaki bozunum oranı) ölçerek minerallerin en az 440 milyon yaşında oldukları çıkarımını yaptı. Tabii tüm bunlar izotoplara dair hiçbir bilgi olmadan yapılmıştı.

ve potasyum-40/argon-40'ın da bulunduğu ve aralarında bozunum süreçlerine dayalı bir bağ olan, uzun yarı-ömre sahip pek çok izotop çifti kullanılır. Bunların her biri, en iyi işlerliği belli bir kayaç türü ve zaman biriminde gösterir. Uranyum-238 bozunumu uzak yıldızların yaşlarını hesaplamak için dahi kullanılmıştır. 2001'de, Şili'deki Avrupa Güney Gözlemevi'nde bulunan çok güçlü bir teleskop kullanılarak, galaksimizdeki CS 31082-001 adlı yaşlı bir yıldızdaki ^{238}U oranına, yıldız ışığı tayfındaki uranyumdan salınan ışığın ölçümlenmesi ile ulaşılmıştır (bkz. s. 105). Bu çalışma sonucunda yıldızın 12,5 milyar yıl yaşında olduğu saptanmıştır. Yaşlı yıldızların yaşlarına bakarak, Büyük Patlama'nın en az ne kadar zaman önce gerçekleştiği tahmininde de bulunabiliriz; evrenin, en nihayetinde, barındırdığı yıldızlardan daha yaşlı olması gerekir.

Buzdaki tarih

Dolayısıyla, Dünya'nın ve çevresinin milyarlarca yıllık tarihini bilim insanları radyoaktif izotoplar sayesinde yazabilmişlerdir. Öte yandan, *kararlı* izotoplar yerbilimcilerin kullandığı demirbaşların vazgeçilmez bir unsurudur da. Özellikle yapılan jeolojik kayıt ölçümleri, gezegenin iklim sisteminin nasıl işlediği ve zaman içinde nasıl değiştiği konusundaki düşüncelerimizde devrim yaratmıştır.

Bu da salt akademik bir ilgi meselesinden çok daha ötedir. Son asırda fosil yakıt kullanımı gibi insana özgü eylemler nedeniyle Dünya'nın ikliminin değişmesiyle karşı karşıya olduğumuz göz önüne alındığında, gelecekte bizi

neler beklediğini öngörebilmek için iklimi kontrol eden olgular hakkında daha fazla şey öğrenmemiz gerektiği açık. Geçmişe ait kararlı-izotop kayıtlarına baktığımızda, iklim sisteminin sandığımızdan çok daha karmaşık olduğunu, beklenmedik ve çok hızlı bir şekilde davranış değiştirebilme kapasitesi olduğunu görebiliyoruz.

Jeologlar 19. yüzyılda Dünya'da kutupları kaplayan buzul örtüsünün bugünkünden çok daha geniş bir alana yayıldığı birçok buzul çağı yaşandığı sonucuna vardılar. 1930'da, Sırp matematikçi Milutin Milankoviç, Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinde oluşan değişikliklerin, gezegenin yüzeyine düşen güneş ışığının mevsimsel dağılımını da değiştirerek nasıl buzul çağını tetikleyebileceğini gösterdi. Dünya'nın 23,000, 41,000 ve 100,000 yıldan oluşan üç farklı döngüsel yörüngesi vardır. Bu "Milankoviç döngüleri"nin birbirleriyle etkileşimi iklimde karmaşık, ancak öngörülebilir ve binlerce yıla yayılan yavaş bir değişim yaratır.

Milankoviç'in bu teorisini test etmek için geçmişte yaşanan birkaç buzul çağının tarihlerini bilmek yeterli değildi. Teoriye göre, şiddeti farklılıklar gösteren buzul çağları yaratan iklim sisteminin nabzı, üç temel belirgin ritim dışında düzensizdi. Sistemin nabzını tutabilmek için bilim insanlarının son bir milyon yıl içinde küresel ortalama sıcaklıklar ile buz hacminde yaşanan değişimleri düzenli bir şekilde kaydetmenin bir yolunu bulmaları gerekiyordu.

Jeokimyacılar 1970'lerde böyle bir kaydın okyanus tabanlarında biriken tortullarda bulunabileceğini anladılar. Bu tortullar okyanus içinde bulunan maddelerdir ve ağırlıklı olarak ölü deniz organizmalarının kalıntılarından

oluşurlar. Bu kalıntılar da genellikle foraminifer denilen mikroskopik organizmaların çözünmeyen mineral kabuklarından meydana gelir. Kabuklar, bir kalsiyum, karbon ve oksijen bileşimi olan kalsiyum karbonattan oluşmuşlardır. Oksijenin kaynağı da foraminiferlerin içinde yaşadıkları sudur.

Oksijenin iki kararlı izotopu vardır: ^{16}O ve ^{18}O. Deniz suyu buharlaştığı zaman daha hafif izotopu içeren su molekülleri daha kolay kaçar – tıpkı bir serçenin bir albatrostan daha kolay havalanması gibi. Dolayısıyla, buharlaşma, deniz suyunu ^{18}O bakımından daha zengin yapar. Su buharı çok geçmeden yeryüzüne yağmur veya kar şeklinde geri iner. Nehirler yağmur sularını tekrar denize ulaştırır; ne var ki, kutup bölgelerinde kar, buz şeklinde toplanır ve böylelikle su burada uzun süre hapsolur. Herhangi bir buzul çağında buz örtüsü genişler, yani buza daha fazla su buharı aktarılır ve deniz suyu ^{18}O bakımından daha da zenginleşir. Bu doğrultuda, deniz suyundaki $^{16}O/^{18}O$ oranı küresel buz örtüsünün genişliğini de yansıtır.

Foraminiferlerin karbonat kabukları deniz tabanındaki tortullara karışırken, bu izotopların birbirlerine oranını da muhafaza ederler. Bu oranı ölçmek için kütle spektrometresi kullanılabilir. Yani geçmişte buzul örtülerinin genişliklerinde yaşanan değişiklikleri derin-deniz tortullarındaki *oksijen izotop kayıtlarına* bakarak anlayabiliriz.* 1970'lerde

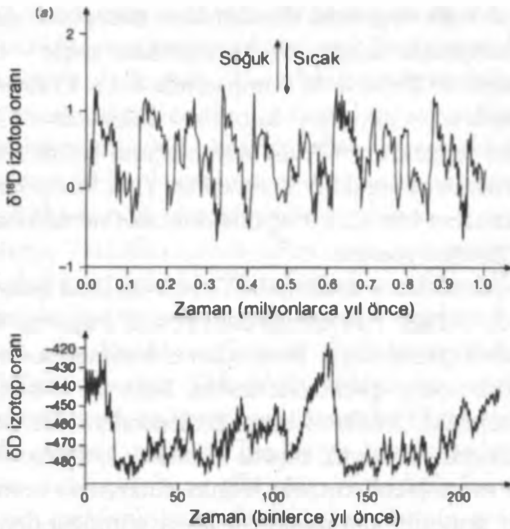
* Tortullardaki oksijen izotop oranının başlangıçta denizsuyu *sıcaklığının* bir ölçümü olduğu düşünülüyordu, çünkü bu durum, oksijen su moleküllerinden foraminifer kabuklarını oluşturan karbonata aktarıldığı zaman iki oksijen izotopunun nasıl bölüşüleceğini etkiliyordu. Ancak,

hayata geçirilen ve Climate Long-range Investigation, Mapping and Prediction (Uzun Vadeli İklim Araştırmaları, Haritalama ve Tahminler) (CLIMAP) adında bir projeyle, deniz tabanından çıkarılan tortul dikeçleri analiz edilerek, son 700,000 yıl içinde gerçekleşen iklim değişiklerinin bir kaydı oluşturuldu. Tortul çekirdeklerindeki oksijen izotop oranlarında görülen değişikliklere bakılarak belirlenen buzul örtülerindeki büyüyüp küçülmeler, Milankoviç'in de öngördüğü gibi, gerçekten de üç ana ritim olduğunu tanıtladı. Özellikle 100,000 yıllık döngü gayet belirgindi (Resim 15*a*).

Kutuplardaki buzul örtülerinde hapsolan su moleküllerinde mevcut oksijen izotopları ise gezegenin iklimine dair farklı bir hikâye anlatır. Antarktika'yı kaplayan buz tabakası yaklaşık 1,5 km. genişliğindedir ve en kalın olduğu yerde de bunun yarısı derinliğindedir; kar yağışı sonrasında buza dönüşen kısım ise 250,000 yıllıktır. Dolayısıyla, Antarktika buzul örtülerinin izotop yapıları, tıpkı derin-deniz tortullarında olduğu gibi, iklimin binlerce yıllık tarihine ait veriler taşır.

Gelgelelim, buz çekirdeklerindeki oksijen izotoplarının oranını ağırlıklı olarak kontrol eden etkinin kaynağı başka bir şeydir: Kar yağışı yapan bulutların sıcaklığı. Su buharı

1960'lar ve 1970'lerde yürütülen çalışmalar, okyanus tortullarındaki oksijen izotopu oranlarını, ağırlıklı olarak küresel buzul örtüsündeki değişikliklerin belirlediğini gösterdi. Bilim insanları, ayrıca, bu oksijen izotop kayıtlarını kullanarak deniz yüzeyindeki su sıcaklığında oluşan değişiklikleri de ortaya çıkardılar. Bu sonuçlara göre, tropikal kuşakta sıcaklıklar son buzul çağı sırasında ve sonrasında fazla bir değişiklik göstermemişti.



Resim 15. *a.* Derin-deniz tortullarındaki oksijen izotoplarının oranı bize küresel iklimin geçmişte nasıl dalgalı bir seyir izlediğini gösteriyor. İzotop oranındaki farklılıklar, Dünya'nın belli başlı buzul örtülerinin hacimlerindeki değişimi yansıtan ve $\delta^{18}O$ denilen bir nicelikle belirlenir. Buz hacmi fazla olduğunda –buzul çağlarında– $\delta^{18}O$ yüksektir. Burada, milyonlarca yıl öncesini gösteren iklim kaydına Pasifik Okyanusu'nun tropikal doğusundaki bir tortul çekirdeğinin incelenmesi sonucunda ulaşılmıştır. Bu kayda baktığımızda açıkça görüyoruz ki, en azından son 700,000 yıllık dönemde, her 100,000 yılda bir inip çıkan bir dalgalanma yaşayan iklimin nabzı son derece gergin. *b.* Bir başka iklim kaydı kaynağı da kutuplardaki buzul örtüsündeki oksijen ve hidrojen izotoplarının her ikisinin de oranlarıdır (H ve D değerlerini göstermek için δD parametresi kullanılır). Bu hidrojen izotopu kaydı Antarktika'daki Vostok buz çekirdeğine aittir; δD, buzul örtüsü üstündeki sıcaklığın son birkaç bin yılda nasıl değiştiğini yansıtır: Yüksek bir δD görece ılık bir zamana işaret eder.

yoğuşarak suya veya buza dönüşürken, izotopların dağılımı buharlaşmada olduğu gibi bir elemeden geçer – fakat bu kez tersine: Daha hafif izotop geride kalır. Dolayısıyla, bulutu terk eden son yağış –kutuplara düşen kar– ^{16}O bakımından zengindir. ^{16}O'nun yoğunluğunu belirleyen ise buzul örtüsünün soğukluk derecesidir. Yani buz-çekirdeği izotop kayıtları bize zaman içinde atmosfer sıcaklıklarının nasıl değiştiğini gösterir.

Buz çekirdekleri, aralarında Vostok ve Byrd İstasyonlarının da olduğu Antarktika'daki çeşitli araştırma merkezlerinden çıkarılmıştır. Bunlardan elde edilen sonuçlar, hem deniz tortul çekirdeklerinden, hem de Dünya'nın diğer ucundaki Grönland buzul örtülerinden elde edilen iklim kayıtlarıyla büyük ölçüde tutarlılık gösterir. Tabii buzdaki su moleküllerindeki ^{1}H'nin döteryuma oranı da bir çeşit atmosfer termometresi işlevi gördüğünden, bu buz-çekirdeği kayıtlarının sağlaması da yapılabilir (Resim 15*b*).

Geçmişteki iklim değişikliklerinin kaydını tutan buzul örtülerinin deniz tortulları karşısında bir avantajları vardır. Deniz diplerinde yaşayan canlılar, tortul yüzeyinin birkaç santimini veya daha fazlasını karıştırarak izotop kayıtlarını bulanıklaştırırlar. Tortuldaki her bir katman, oluşumu esnasında aynı etkiye maruz kalmıştır. Öte yandan, buzul örtülerindeki kar tabakası buz şeklinde sıkılaşırken bu şekilde bir bozulma gerçekleşmez. Bu da buz-çekirdeği kayıtlarının sıcaklık değişimlerine dair daha kesin veriler sunması anlamına gelir. Buz-çekirdeği iklim kayıtlarına bakıldığında, sıcaklık değişimlerinin muazzam bir hızla gerçekleşebildikleri görülür. Kuzey Atlantik bölgesinin

iklimi bazı durumlarda yalnızca birkaç on yıl gibi kısa bir zamanda buzul çağından çıkıp ılıman (buzularası) koşullar oluşturmuştur. Bu, Milankoviç'in döngüleriyle bile açıklanamayacak yükseklikte bir hızdır ve Dünya'nın iklim sisteminin bir çırpıda değişebilecek kadar kararsız olduğunu da gösteriyor; ki bu da muhtemelen okyanus akıntılarındaki değişikliklere bağlı olarak gelişen bir durum.

Kutup buzulları içinde, oluşumları esnasında hapsolmuş, havayla dolu küçük baloncuklar vardır. Bilim insanları bu baloncuklar içinde bulunan karbondioksit ve metan gibi düşük oranlardaki ("iz") gazların miktarını ölçebilirler. Bunlar, Dünya'nın yüzeyinden salınan ısıyı soğurarak gezegeni ısıtan sera gazlarıdır. Buz çekirdekleri incelendiğinde, geçmişte karada ve denizlerde bitki örtüsünün azalıp çoğalması gibi, doğal süreçlerle kontrol edilen sera gazlarının atmosferdeki seviyelerinin sıcaklık değişimleriyle neredeyse mükemmel bir eşzamanlılıkta inip çıktıkları görülür. Bu da, Dünya'nın ikliminin ayarlanışında sera etkisine dair oldukça sağlam bir kanıt sağlamanın yanında, atmosferdeki sera gazını artırmamız durumunda bizi bekleyen değişimin boyutlarını da tahmin etmemizi sağlıyor.

Işın tedavisi

George de Hevesy, 1913'te, Ernest Rutherford ile birlikte radyoaktif izotopları araştırdığı sırada aklına bir fikir geldi. Nükleer bilimciler çoğu zaman çok küçük miktarlarda radyoktif materyalle çalışmak zorundaydılar ve bu

da standart kimyasal analiz tekniklerini kullanarak bir şeyler "görmelerini" zorlaştırıyordu. Öte yandan, Geiger sayacı sayesinde bozunan bir radyoizotopun her bir atomu da tespit edilebiliyordu. Bu doğrultuda, eğer bir elementin bir radyoizotopu aynı elementin kararlı izotoplarından ayrıştırılabilirse, bundan bir özdeğin hareketlerini izleyen bir işaret olarak yararlanmak mümkündü – çok az miktarlar üzerinde çalışarak bile. Bu koşullar altında, kimyasal olarak tıpkı "normal" bir element gibi davranırken, ışınım salması nedeniyle farklı bir varlığa bürünecekti.

De Hevesy bu radyoaktif-işaretleme tekniğinin özellikle biyolojik araştırmalarda değerli olabileceğini düşündü: İnsan vücudundaki kimyasalların nasıl işlediğini takip edebilmek bakımından. Organik dokular alfa ve beta parçacıklarını soğururlarken, metrelerce kalınlıktaki betonun içinden geçip gidebilen gama ışınımı ise sorunsuzca insan vücudundan geçip gidebilir. Joliot ve Curie'ler herhangi bir elementin radyoizotoplarının yapay olarak elde edilebileceğini kanıtladıkları zaman, biyokimyasal tüm süreçlerin araştırılmasında "izleyici" olabilecek birçok gama salımlayıcısı bulmak da mümkün hale geldi.

Örneğin, sülfür ya da doğal fosforun (^{31}P) yüksek enerjili parçacıklarla ışınıma tutulması sonucunda elde edilen fosfor-32, 14,8'lik bir yarı-ömre sahiptir ve kas, karaciğer, kemik ve dişler gibi vücut dokuları tarafından hızla soğurulabilir (fosfat formunda). De Hevesy farklı fosfor bileşiklerinin belli dokulara nüfuz etme eğiliminde olduğunu keşfetmişti: Sözgelimi, belli bileşikler karaciğerde toplanıyordu. Kararlı izotoplar her bir atomlarına dek spektrometre kullanılarak tespit edilebildikleri için, biyolojik

birer izleyici olmaya da uygundurlar. De Hevesy, yaptığı gözlemler sonucunda, içilen ağır sudaki döteryumun yirmi altı dakikada idrara karıştığını bulgulamıştı.

İzotopların biyoloji ve tıp alanlarında kullanımı De Hevesy'nin bu çalışmalarıyla başlamış ve ona 1943 yılında Nobel Kimya Ödülü'nü kazandırmıştı. Doğal içgüdülerimiz bize radyoaktif özdeklere mümkün olduğu kadar mesafeli durmamızı öğütler; kaldı ki, ışınım gerçekten de ölümcül olabilir.* Fakat, Paracelsus'un da sık sık dile getirdiği gibi, zehri zehir yapan şey dozudur. Dolayısıyla, sağlığı tehdit etmeyecek kadar düşük miktarlardaki radyoaktif izotopların izleyici olarak kullanılması bir sakınca doğurmaz.

Nadir bir element olan teknesyumun bir izotopu olan ^{99m}Tc kalp, beyin, akciğerler, dalak ve başka organların görüntülenmesinde sıklıkla kullanılmıştır. Nötron bombardımanıyla oluşan radyoaktif bir molibden izotopunun bozunumu sonucunda ortaya çıkan bu izotopun adındaki "m" harfi, onun "metastabl", yani yarı-kararlı olduğunu ifade etmek için kullanılır. İzotop, iki gama ışını salarak, yarı-ömrü altı saat olan "normal" ^{99}Tc'ye bozunur. Bu da atom numarasında ya da çekirdeğin atom kütlesinde değişikliğe yol açmayan bir nükleer süreçtir – yalnızca çok az artık enerji bırakır.

* Ne var ki, eskiden bu şekilde düşünülmüyordu. 20. yüzyılın başlarında Marie Curie'nin ölümüne yol açan radyum her şeye deva bir şifa gibi sunulmuştu. Prestij sahibi *Nature* dergisi şu şekilde bir uyarı yayımladı: "Radyumun sağaltıcı bir madde olduğu iddiaları halkın saf kesiminin dolandırılmasına yol açabilecek bir tehlike arz ediyor."

Bir ^{99m}Tc bileşiği vücuda yayıldıkça, radyoizotopun geçtiği yerlerde oluşan gama ışınımı bir görüntü oluşturur. İki gama ışını farklı yönlere eşzamanlı olarak yayıldığından, istikametlerini gerisin geri takip ederek yayımı başlatan atomun yeri kesin olarak tespit edilebilir. Bu sayede organların üç boyutlu görüntüleri çıkarılır (Resim 16). Bilim insanları belli organlara yerleşecek yeni teknesyum bileşikleri oluşturmaya çalışırlar. En nihayetinde, teknesyum vücuttan idrarla atılabilir bir niteliktedir.

Metastabl teknesyum-99 yapımı oldukça pahalı bir iştir. Daha ucuz ve yaygın bir diğer izleyici iyot-131'dir; bozunduğu zaman bir gama ışını salar. Öte yandan, iyot izotopu dokulara zarar verebilen beta parçacıkları salmasıyla daha az cazip bir görüntüleme aracıdır.

Bir diğer üç boyutlu içorgan görüntüleme biçimi de pozitron emisyon tomografisi (PET) denen bir taramadır ve daha az rastlanan bir beta bozunumu ihtiva eder. Beta bozunumların çoğunda, bir nötronun bir elektron ve bir protona bozunmasıyla çekirdekten elektron salımı gerçekleşir. Ancak, bunun tam tersi de olabilir: Bir proton bir nötrona bozunabilir (bkz. s. 147). Pozitif yük, akabinde bir elektronla çarpışacak olan bir pozitron vasıtasıyla çekilip alınır. Bu karşılıklı imha da bir gama ışını üretir.

Pozitron üreten bozunum nötron fakiri çekirdeklerde gerçekleşir. Nükleer reaktörlerde üretilen kısa ömürlü karbon-11 ve flor-18 bu tür izotoplardandır. PET taramasında bu izotopların bileşikleri içilir ve vücuttaki pozitron-elektron imhası sırasında (ki pozitron salımıyla hemen hemen aynı anda gerçekleşir) oluşan gama ışınları kullanılarak iki boyutlu bir dizi kesitle üç boyutlu görüntüler



Resim 16. İnsan vücudunun, metastabl teknesyum-99'un kan dolaşımında radyoaktif bozunumuyla kaydedilmiş bir görüntüsü.

oluşturulur. PET taraması özellikle beyin görüntülemede büyük fayda sağlar.

Radyoaktivitenin dokular üzerinde yaratabileceği zararlı etkilerin hepsi kötü değildir. Kanser tedavisinde hücreleri öldürmek *isteriz* – tabii yalnızca sağlıksız ve çılgınca çoğalan tümör hücrelerini, sağlıklı olanları değil. Şayet radyoizotoplar tümörlere yerleştirilebilirse, yok edici yönleri iyi bir amaca hizmet etmiş olur. Kararlı kobalt-59'un nötron bombardımanına tutulmasıyla elde edilen ve 5,3 yıllık bir yarı-ömrü olan kobalt-60 kanser tedavisinde kullanılır.

Kobalt çekirdeği, bir beta parçacığı ve iki gama ışını salarak nikel-60'a bozunur. Hasarın büyük bir kısmı gama ışınlarından kaynaklanır; gerçi insan dokularından geçip giderler ancak nadir de olsa bazen hücredeki bir atomun bir elektronuna çarpabilirler; bu da bir dizi biyokimyasal "serbest radikal" reaksiyonu başlatarak hücrenin ölümüne neden olabilir. Kanser tadavisinde hedef, kobalt-60'ın yalnızca tümöre ulaşmasını sağlamaktır. Ne yazık ki, bu hedefleme kusursuz olmadığı için, bazı sağlıklı hücreler de zarar görür. Bu bağlamda, kanserle mücadelede radyoterapi ciddi bir etkiye sahiptir. Bilim insanlarının en büyük hayali, vücudun içinden geçip giden ama sadece kötü adamları deviren "sihirli bir kurşun" gibi kanserli hücrelerde toplanan radyoizotop bileşikleri bulmaktır.

Kobalt-60'tan salınan gama ışınları bakterileri öldürdükleri için besinlerin sterilizasyonunda da kullanılır. Gama ışınları besin içinde radyoaktivite oluşmasına yol açmaz, dolayısıyla "temiz" bir metod olduğunu söyleyebiliriz. Ne var ki, ışınlar zararlı olabilecek bazı serbest radi-

kaller üretirler. Ancak, bunlar da çok düşük yoğunluklardadır; üstelik besinlerin bakteriler nedeniyle bozulmalarını önlemek için kullanılan koruyuculardan daha az zararlı oldukları da kesin. Buna karşın, radyoaktivitenin anlaşılır nedenlerden kaynaklı kötü bir imajı vardır ve tüketicilerin çoğu ışınıma tutulmuş besinlerden uzak durmaya çalışır. Elbette en ideal alternatif her şeyin tazesini yemek.

Sonuç itibariyle, izotoplar Periyodik Tablo'da bedava dağıtılan bonuslar gibidirler. Diğer bir deyişle, eşsiz ve yararlı özelliklere sahip izotoplar element seçeneklerimizi çoğaltırlar. Tablodaki her bir girdinin element ailesinin yalnızca tek bir üyesini değil, her biri kendine özgü yeteneklere sahip kimyasal kız ve erkek kardeşlerden oluşan küçük bir grubun genel görünümünü yansıttığını da aklımızdan çıkarmamamız gerekir.

VII. Bölüm

ELEMENT TEKNOLOJİLERİ HER YERDE

Elementlerin en kararlısı ve en etkili savaş metallerinden olan demir, hiç kuşkusuz, uygarlıkların kaderlerini şekillendiren elementlerin en önde gelenidir. Demiri sistematik olarak eritip döven ilk uygarlığın MÖ 13. yüzyılda, Küçük Asya'da Hititler olduğunu söyleyebiliriz ki bu becerileri ordularına düşman karşısında müthiş bir avantaj sağlamıştı. Savaşçı bir topluluk olan Asurlular da bu ustalığı MÖ 9. yüzyıl civarında yakaladı ve sonraki birkaç yüzyıl boyunca inen acımasız demir yumruklarına hiçbir düşman karşı koyamadı.

Romalılar lejyonlannı keskin kılıçlar ve parıltılı zırhlarla donatmak için ulaşabildikleri her yerden demir çıkardılar ve ticaretini yaptılar. Aslında, bu parlak metal ham demir değil, çelikti ve Galyalılar'ın daha yumuşak dövme demir bıçaklarını rahatlıkla bükebiliyordu. Hitit demircileri, odun kömürüyle temas halindeki demiri ısıtıp döverek bir çeşit çelik üretmişlerdi: Sementasyon denilen

bir işlemdi bu. Su verme –sıcak metalin soğuk suya daldırılması– çeliği daha da sert bir hale getiriyordu. Roma İmparatorluğu'nda en makbul çelik Hindistan'da dövülen ve Habeşistan'dan ithal edilen Seric demiriydi.

Dolayısıyla, çelik yapımında odun kömürünün kullanımı çok eskilere gider. Gene de, çelikteki temel katkı maddesi –karbon– ancak 18. yüzyılda tanımlanabilmiştir. Odun kömürü demiri eriterek cevherinden ayırmak için öteden beri kullanıldığından, bir miktar karbon şans eseri de olsa metal üretimine her zaman dahil olmuştu. Ne var ki, ürünün sertliğini asıl belirleyen karbonun oranıdır ve bu gerçeği ilk kez 1774'te fark eden kişi, İsveçli metalurji uzmanı Tobern Bergmann olmuştu. İngiliz Henry Bessemer'in 1850'lerde geliştirdiği bir çelik üretim işlemine dek, çelikteki karbon içeriği hiçbir zaman tam olarak kontrol edilememişti. 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde, çelik, inşaat mühendisliğini de dönüştürmüştü. 20. yüzyılın başlarında dünya çelik piyasasının değerinin yaklaşık 500 milyar dolara ulaştığı tahmin ediliyordu.

Çelik artık demirin doğru miktarda karbonla harmanlaması gibi basit bir konu değil. Paslanmaz çelik en az %10 oranında krom içerir ve yüksek performanslı mühendislik çeliklerine belli amaçlara yönelik olarak nitrojen, fosfor, sülfür, silisyum, nikel, manganez, vanadyum, alüminyum, titanyum, niyobyum, molibden ve daha başka elementler katılabilir. Metalin taşıyacağı özelliklere girift bir element karışımıyla ince bir ayar çekilir.

Tüm bunlar ışığında baktığımızda, aslında, Demir Çağı yanlış bir ifadedir. Çünkü demir, bu çağın başlangıcından

çok önce de kullanılıyordu* ve devletleri birer fatihe dönüştüren asıl unsur çeliğin icadıydı. Buna karşın, mit ve sembol, bu element karışımına yabancı kalmayı yeğlemiştir: Amerika'nın düzlüklerini buharla aşan *demir* bir attı; keza kudret ifade eden demir yumruk diye bir söz vardır. Oliver Cromwell, I. Charles'ın kraliyet birliklerini çelik zırhlı Demiratlıları ile ezip geçmişti; Alman ordusunun askeri nişanı Demir Haç'tı; soğuk savaş süresince ulusların sınırlarını ifade etmek için Demir Perde sözü kullanıldı. En nihayetinde, bir element olarak demiri bakırın kızıl esnekliği veya sarı altının yumuşaklığından ayıran en önemli yanı ışıltılı gri gücünde saklıydı. Demir elbette geliştirilebilir, ancak onu savaşla asıl özdeşleştiren ve savaş tanrısı Mars'la bağdaştıran kendine has özellikleri olmuştur.

Diğer pek çok element de temel yapılarına göre belirlenmiş uygulanım alanlarına sahip olmalarıyla eşsizdirler. Bu son bölümde bunlardan bazılarına değineceğim. Periyodik Tablo'nun keşfedilmiş her bir köşesinin bize sunduğu avantajların çoğunun rastlantısal olarak bulunduklarını söyleyebiliriz. Sona yaklaşırken, umudum, elementlerin çeşitliliği ve yararlı şeyler yapabilmemiz için Mendeleyev'in tablosunun zenginliğinin neden sonsuz bir imkân sağladığına dair bir kavrayış yaratabilmek.

* Bazı tarihçilere göre, Demir Çağı, Hitit İmparatorluğu'nun çöküşünün ardından, MÖ 1200'ler civarında dört bir yana dağılan demircilerin zanaatlarını yaymalarıyla başlamıştı. Oysa, insan yapımı demir objeler MÖ 2500'den önce bile mevcuttu. Demir Çağı ve onun öncesinde gelen Bronz Çağı ve Taş Devri gibi adlandırmalar, değerlendirmeleri bugün tartışmaya açık olan 19. yüzyıl arkeologlarının yakıştırmalarıdır.

Çipler her yerde

Eğer II. Dünya Savaşı ile modern dünyayı birbirinden ayıran tek bir element varsa, o da silisyum denilen şu mütevazı gri maddedir. Bu element her yerdedir ve her zaman da öyleydi. Yerkabuğunda en bol bulunan ikinci element silisyumdur, çünkü sıradan kayaçların çoğunda silisyum ve oksijenden oluşan kristalize ana yapılar vardır: Silikatlar. Kuvars ve kum taneleri yalnızca silisyum ve oksijenden oluşur: Silisyum dioksit ya da silika.

Bu doğal silisyum bileşikleri en eski teknolojinin de hammaddeleridir: Afrika'da iki milyon yıldan fazla bir zaman öncesine ait taş aletler bulunmuştu. MÖ 2500'ler civarında ise Mezopotamyalı zanaatkârlar, bir fırında kum ve soda karışımını eriterek, sert, yeşilimsi ve yarı saydam bir madde elde ettiler: Cam. Daha sonra bu camı metal içerikli minerallerle renklendirdiler ve muhteşem kaplar ile süs eşyaları yaptılar. Orta Çağlarda zanaatkârlar o yeşilimsi renkten (demirden kaynaklı) nasıl kurtulacaklarını keşfettiklerinde cam yapımı büyük bir gelişme gösterdi. İncil'de geçen hikâyeleri anlatan ve ışıkla pırıl pırıl parlayan rengârenk pencereler, huşu içindeki cemaat için en az modern bir film kadar etkileyici olmalıydı. Ve taşlama metotlarının mükemmelleşmesiyle yapımı mümkün hale gelen lensler sayesinde Galileo ve çağdaşlarına gökkubbenin kapıları açıldı; o güne dek saklı kalmış bir yıldızlar âlemi somut bir gerçeklik kazandı. Hatta cam, evrendeki yerimizle ilgili düşüncelerimizi bile değiştirdi desek yeridir.

Uzun bir zaman silikanın bir element olduğu düşünüldü –Lavoisier'nin listesinde öyleydi– çünkü silisyum

ve oksijeni birbirlerinden ayırmak pek kolay değildi. Humphry Davy silikanın bir element olmadığından şüpheleniyordu, ancak silisyumu izole etmek ancak 1824'te Jöns Jacob Berzelius'un bunu amorf silisyum denilen bir form haline getirmesiyle mümkün oldu. Bu, atomların bir kristalde olduğu gibi düzenli sıralanmadığı, daha karışık oldukları bir katı maddeydi. Cam da silisyum ve oksijen atomlarının karışık denebilecek bir düzende olmaları nedeniyle yine amorftur. Kristal silisyum da ancak 1854'te Fransız kimyacı Henri Deville tarafından yapılabildi.

Ne var ki, saf silisyumla ne yapabileceğimizi bulmamız epey bir zaman aldı. Silisyum, Periyodik Tablo'da metallerin (sol taraf) yerini ametallere (sağ taraf) bıraktığı şu tuhaf sahipsiz topraklarda ikamet eder. Silisyum bir metal değildir, ancak zayıf da olsa elektriği iletebilir. Silisyum bir yarı iletkendir.

Bu da teknik açıdan "kötü bir iletken" olduğu anlamına geliyor. Metaller elektriği iletirler, çünkü bazı elektronları ebeveyn atomlarından kaçarak maddenin içinde serbestçe gezinirler ve hareketleri bir elektrik akımına benzer. Yarı iletken bir maddede de serbest elektronlar vardır ama daha az sayıda. Bütünüyle serbest olmasalar da, çok yüksek olmayan bir ısıyla atomlarından koparılabilirler: Bazıları oda ısısında bile serbest kalabilir. Dolayısıyla, yarı iletken bir maddenin iletkenliği ısı arttıkça çoğalır. Buna karşın, metallerin iletkenliği sıcaklık arttıkça azalır, çünkü bu etki hareketli elektron sayısını artırmaz ve ısı arttıkça titreşimi artan atomlar serbest elektronların hareketlerini de engellemeye başlar.

Elektronik biliminin elektrik akımlarının bir yerden bir yere aktarılmasıyla ilgili olduğu düşünüldüğünde, silisyum çiplerdeki elektrik aksamların metal yerine bir yarı iletken kullanılarak yapılması ilginç bulunabilir. Ne var ki, işin sırrı aslında "iletim elektronları"nın silisyumda daha az olmasında yatar. Bu özelliği, diğer element atomlarının kristal örgüye serpiştirilmesiyle hareketli elektronların sayısının azaltılmasına veya çoğaltılmasına yarar ve bu sayede iletkenliğe hassas ve ince bir ayar verilebilir. Hareketli elektron bakımından zengin bir metalde bunu yapmaya kalkışmak, hırçın bir nehrin su seviyesini birkaç yüksükle azaltmaya çalışmaya benzer.

Silisyumun atomlarıyla karşılaştırıldığında, arsenik atomlarının dış kabuğunda fazladan bir elektron daha vardır. Dolayısıyla, silisyuma arsenikle "katkılama" işlemi yapıldığında fazladan birkaç faydalı elektron kazanır. Keza boronun elektronları da silisyumdan bir eksiktir, yani silisyuma boron katkılama yapıldığında iletken elektronların sayısı azalacaktır. Boron katkılama, silisyumu daha zayıf bir iletken yapmaz, çünkü bir silisyum kristal örgüdeki elektron eksikliği, "elektron denizi"nde tıpkı bir kalabalığın ortasındaki boş alan gibi bir çeşit delik yaratacaktır. Bu delik de serbest bir elektron gibi istediği yöne hareket edecek, ancak ters bir akıma (pozitif) sahipmiş gibi davranacaktır. Yani silisyuma arsenik katkılama yapılması hareketli elektron sayısını –elektrik akımının negatif yüklü birimleri– artırır ve buna n-tipi katkılama denir. Boron katkılama yapılan silisyumda ise pozitif yüklü taşıyıcılar vardır ve bu katkılamaya da p-tipi denir.

Silisyum çiplerdeki mikroelektronik donanımlar genellikle n-tipi ve p-tipi silisyum levhalarından yapılır. Silika filmler de yalıtkan oldukları için bakır kabloları saran plastik kaplama gibi bir görev görürler. Sırt sırta vermiş p-tipi bir silisyum levhası ile n-tipi bir silisyum levhasına p-n bağlantısı denir ve bu da bir akımın bağlantı hattı boyunca yalnızca tek bir yönde hareket etmesini sağlar. Bu tek yön davranışı ise diyot adı verilen bir elemanın temel özelliğidir. Elektronikte kullanılan ilk diyotlar havası tahliye edilmiş cam tüplerde saklanan metal levhalardan yapılıyordu ki eski radyoların içi açıldığında parlamaları nedeniyle hemen fark edilirlerdi. Katkılama işlemi gören silisyumdan yapılan diyotlar hem daha küçük hem de daha dayanıklı olurlar: Katı maddelerden yapıldıkları için "katı-hal elektroniği"nin elemanlarından biridirler.

Silisyum bazlı elektronikte asıl yük transistördedir. Bu, p-tipi ile n-tipi levhalardan yapılan biraz daha karışık bir sandviçtir ve voltaj uygulanımıyla elektrik akımının kontrol edildiği bir donanım görevi görür. Bu da bir transistörün, sinyalleri açıp kapatan bir düğme ve ayrıca zayıf bir sinyali güçlü bir sinyale dönüştürebilen bir yükseltici gibi davranmasını sağlar. Transistörler devrelere de yerleştirilebilir ve toplama, çıkarma gibi temel matematik işlemlerine benzer "mantık" işlemleri yapma yetisine de sahip olabilirler. Mikroişlemci ve bilgisayar yapımında silisyum çiplere mantık devreleri yerleştirilir.

Üretilen ilk katı-hal transistörü silisyumdan değil, Periyodik Tablo'da onun hemen altında yer alan germanyum elementinden yapılmıştır. Bu da bir başka yarı iletken özdektir ve aynı şekilde katkılama uygulanabilir. William

Shockley, Walter Brattain ve John Bardeen bu germanyum transistörü 1947'de, New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuvarları'nda geliştirdiler. Hantal ve kaba bir aygıttı bu (Resim 17*a*) – milyonlarca minyatür transistör, diyot ve başka elemanları barındırabilen günümüz silisyum çiplerinin (Resim 17*b*) tek bir tanesinden çok daha büyüktü. Bu üç mucit 1956'da Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı.

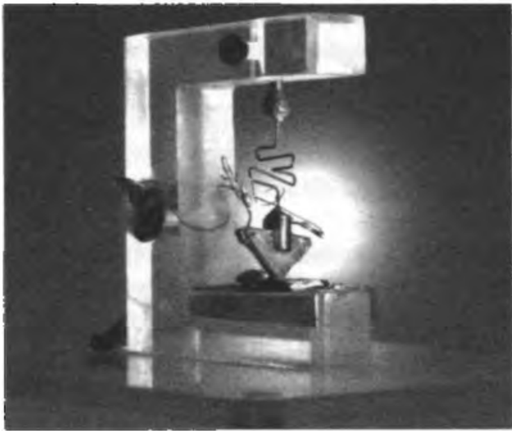
Çip üretiminde kullanılan silisyumun son derece saf olması gerekir, ayrıca kristalize atom gruplarından kaynaklanan kusurlardan da arınmış olmalıdırlar. Bu şartlar da 1940'larda keşfedilen Czochralski yöntemiyle sağlanır: Kuvarsdan çıkarılan saf silisyumun eritilerek yavaş yavaş çubuklara aktarılması. Çubuklar dilimlere bölünerek çipteki devrelerin yerleştirildiği silisyum plakalar oluşturulur. Kristal silisyumu daha ucuza mal etmenin bir yolu da 1970'lerde icat edilen Wacker işlemidir. Bu işlemde, eriyik, silisyum metal elemanlarda yapıldığı gibi kalıplara dökülür. Bunun sonucunda elde edilen kristaller çatlaklarla doludur: Farklı açılarda duran atom örgüleriyle lehimlenmiş minik kristalitlerden oluşan bir yama işinden farksızdır. Bu "çok-kristalli" silisyumun iletkenliği bu kusurlar nedeniyle düştüğünden, elektronik alanında pek bir işe yaramaz. Buna karşın, örneğin, yaygın olarak kullanılan fotovoltaik aygıtlardaki silisyum güneş hücreleri yapımında kullanılabilirler. Bu aygıtlarda ince silisyum filmler vasıtasıyla soğrulan güneş ışığı, elektronları ebeveyn atomlarından ayırarak elektron çiftleri ve delikleri oluşturur. Bunlar da iki elektrotta toplanarak bir akım oluştururlar.

Silisyum karbür ve silisyum nitrür de, kesici aletler, aşındırıcılar ve ısıya dayanıklı mühendislik elemanları gibi

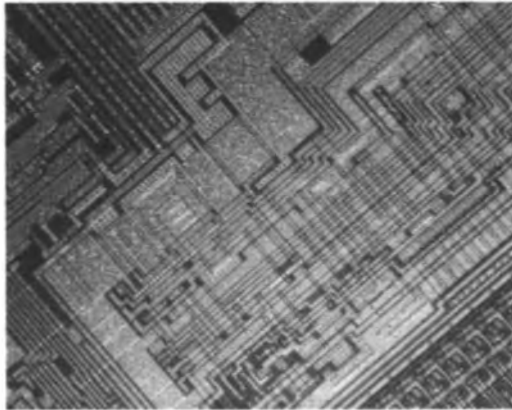
sert ve dayanıklı materyallerin yapımında kullanılan faydalı silisyum bileşiklerindendir. Buna tezat olarak, silisyum ve oksijen, iki farklı atomun sıralandığı uzun zincirler (polimer) içeren, silikon denilen yumuşak materyaller haline de getirilebilirler. Bu şekilde molekül zincirleri oluşturabilmek nadir bir özelliktir. Karbon bunun en mükemmel örneğidir ki karmaşık yapılı organik moleküllerin en temel içeriği olması tam da bundan kaynaklanır. Öte yandan, silikon bileşik zincirleri son derece kararlı bir yapıdadır; bu özellikleri onları sağlam ve çok amaçlı mühendislik malzemelerine dönüştürür.

Silikon polimerlerin bazıları kaygan yağlardır ve yağlayıcılar, boya bağlayıcılar ve kozmetikler ile saç bakım kremlerinde kullanılan sıvılardır. Zincir ne kadar uzunsa, yağ da o kadar yoğun olur. Silikonlar, zincirlerin belli noktalardan birbirlerine eklenmesiyle katılaşarak yumuşak lastik ve reçineler haline getirilir. Silikon lastik toksik olmaması ve su geçirmezliği nedeniyle mutfak ve banyolar için ideal bir dolgu malzemesidir. Ayrıca, yanıcı olmamasıyla ateşe dayanıklı giysiler için de biçilmiş kaftandır ki 1969'da Neil Armstrong'un insanlık için o küçük adımı silikon bir botla atması ona ayrı bir şöhret de getirmiştir.

Ne var ki, silikon göğüs implantlarının birçok kadının sağlığını bozduğu iddiasıyla silikonun ana üreticisi Dow Corning'e açılan davalar ve şirketin milyarlarca dolar tazminat ödemeye mahkûm edilmesi, bu saygınlığı bir anda yerle bir etmiştir. Bu implantlar lastiksi bir silikon torba içindeki silikon yağdan oluşur. Açılan davalardaki suçlama, silikonun implant takılan kişilerde otoimmün rahatsızlıklara yol açmış olmasıydı. Bu bileşiğin zararlı



(a)



(b)

Resim 17. Bell Laboratuvarları'nda Bardeen ve Brattain'in geliştirdiği ilk transistör prototipi ile (bir "nokta-kontaklı yarı iletken yükseltici") (*a*), minyatür yarı iletken birimlerle donatılmış bugünün silisyum çipleri arasında dağlar kadar fark vardır (*b*).

olduğuna dair hâlâ kesin bir kanıt yok ancak gene de ABD'deki implantlarda kullanımı 1992'de bir moratoryumla durduruldu.

Yeni bir gümüş

Paladyum ilk keşfedildiğinde onu isteyen pek kimse olmamıştı. Kâşifi William Hyde Wollaston onu Londra'da bir dükkâna "yeni gümüş" diye tanıtmış ve altının altı katı bir fiyata satmaya çalışmıştı. Keşfinden kâr etme umuduyla bu metali nasıl elde ettiğini bilim çevrelerinden de gizlemeyi tercih etmişti. Öte yandan, bu "yeni gümüş"ü birkaç kişi de olsa alan olmuştu, fakat Wollaston en nihayetinde paladyum stoğunun büyük bir kısmını geri alarak Royal Society'ye bağışladı ve 1805'te yeni metalin nasıl elde edildiğini ve özelliklerini açıkladı.

Gerçekten de gümüş gibi görünüyordu. Dahası, mücevher yapımı için de uygun bir yumuşaklıktaydı ve hakiki gümüşü zamanla karartan oksitlenmeye karşı da dirençliydi. Bu bağlamda, paladyum, Periyodik Tablo'da onun hemen altında yer alan platine çok benzer. Hatta, doğal platinde saklı oldukları 19. yüzyılın başında Wollaston ve meslektaşı Smithson Tennant tarafından keşfedilen* ve platin grubu metaller denilen elementlerden de biridir.

Wollaston ve Tennant cevherlerden platini nasıl çıkaracakları üzerine kafa yorarken, 1803'te, dört yeni element

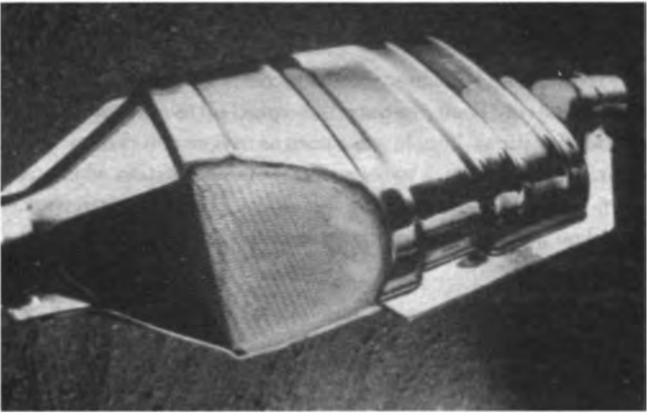
* Tennant 1797'de grafit ve elmasın aynı saf elementten –karbon– oluştuğunu gösteren ilk kişidir.

keşfettiler. Tennant, osmiyum ve iridyumu izole ederken, Wollaston rodyum ve paladyumu buldu. O günlerde âdet olduğu üzere, Wollaston, paladyumu yeni keşfedilen bir gök cisminin ismiyle adlandırdı. Uranyum da adını William Herschel tarafından keşfedilen Uranüs gezegeninden almıştı ve palladyumla da 1802'de keşfedilen Pallas asteroidi onurlandırıldı.

Paladyumun kendine özgü bir yer edinmesi ise daha çok yeni. Platin grubu metallerin tümü gayet iyi katalizörlerdir: Belli kimyasal reaksiyonların hızını artırırlar. Oksijen ve karbonmonoksit gibi basit gazlar bu metallerin yüzeylerine tutunur ve akabinde bileşen atomlarına ayrışırlar. Atomlar daha sonra başka atomlarla karşılaşıp farklı bileşikler oluşturana dek yüzeyde dolanırlar.

Platin, paladyum ve rodyum, otomobil egzoslarındaki zehirli gazlardan bazılarını daha zararsız bileşiklere dönüştüren reaksiyonları katalize ederler. Güçlü bir zehir olan karbonmonoksit bu şekilde karbondioksite dönüştürülebilir ve yakıtta yanmadan kalmış hidrokarbonlar metal yüzeylerde yanıp tükenir. Şehirlerdeki hava kirliliğinde en çok payı olan azot oksit, karbonmonoksitle reaksiyona girerek karbondioksit ve nitrojen gazlarını oluşturur. Bu işlemler de katalitik konvertörlerde gerçekleştirilir.

Araçların egzos sistemlerine yerleştirilen katalitik konvertörler karbonmonoksit ve hidrokarbon salımını %90 oranında azaltırlar. İlk katalitik konvertörlerde ağırlıklı olarak platin kullanılırdı, ancak şimdilerde paladyum daha baskın bir katalitik metal haline geldi. Metaller, gözenekli alüminyum oksitten (alumina) oluşan yardımcı bir yapıda küçük parçacıklar halinde dağılırlar (Resim 18).



Resim 18. Katalitik konvertörler motor egzoslarındaki zehirli gazlardan kurtulmak için paladyum ve benzeri metalleri kullanır.

Dünyada üretilen paladyumun –özellikle nikel, çinko ve bakırın arıtılmasında ortaya çıkan bir yan ürün olarak– %60'ı katalitik konvertörlerde kullanılmaktadır. Geriye kalan miktarın çoğu elektronik parçalarda kullanılırken, mücevher yapımına ayrılan kısım çok azdır. Demek ki, Wollaston'un "kararmayan gümüşü" hiç de işe yaramaz değilmiş.

1989'da paladyum fiyatlarında geçici bir artış yaşandı. Utah Üniversitesi'nden Martin Fleischmann ve Stanley Pons adında iki kimyacı, nükleer füzyonla hidrojeni helyuma dönüştürmenin, yeni, güvenli ve temiz bir enerji üretmenin daha ucuz bir yönteminin asıl anahtarının paladyum olduğunu ileri sürdü. Borsa yatırımcıları bu "soğuk füzyon" işleminin paladyumun değerini artıracağını he-

men anladılar. Bu arada, siyasi danışmanlar, paladyumun başlıca mineral kaynaklarına sahip olan ülkelerin –Güney Afrika ve Sovyetler Birliği– hiç beklenmedik bir şekilde oldukça güçlü bir konuma geleceklerinden endişe etmeye başladılar.

Tüm bunlar olurken kimsenin aklına daha önce de benzer bir durumun yaşandığı gelmemişti. 1920'lerde, Alman kimyacılar Fritz Pareth ve Kurt Peters, hidrojenin paladyum metali içinde helyuma dönüştürülebileceğini ileri sürmüşlerdi. Esas amaçları bir enerji kaynağı yaratmak değildi; bizzat helyumun peşindeydiler. Hidrojen kullanılan Hindenburg zeplininin başına gelen felaketten sonra, kaldırma gücüne sahip bir gaz olan helyuma talep bir anda artmıştı.

Pareth ve Peters paladyumun yüksek miktarlarda gazı emerek bir nevi hidrojen süngeri gibi davrandığını biliyorlardı. Öyle ki, paladyum oda sıcaklığında kendi hacminin 900 katından daha fazla hidrojen tutabilir. Hidrojen molekülleri metalin yüzeyinde iki ayrı atoma ayrışırlar ve minik hidrojen atomları metal atomları arasındaki boşluklara nüfuz ederler. Metal hidrojeni soğururken %10 oranına kadar genleşir ve bu esnada iç basınçlar bir hayli yükselir. Peki, bu basınçlar iki hidrojen atomunu sıkıştırıp helyum yapacak kadar yüksek olabilirler miydi? Araştırmacılar bu fikri paladyum bir tel kullanarak test ettiklerinde çok az miktarda da olsa helyum izine rastlamışlardı.

Bu haber, İsveç'te bulunan ve daha sonraları Electrolux şirketinin bilim kolu yöneticisi olan John Tanberg'e de ulaştı. O da söz konusu helyum üretiminin elektrolizle hızlandırılmış olabileceğini düşündü. Elektroliz, karşıt

yüklü iki elektrodun, iyon içeren bir tuz çözeltisi benzeri sıvıya sokulması işlemidir. Negatif iyonlar ve pozitif iyonlar birbirlerini çekerler. Asidik bir çözeltide pozitif yüklü hidrojen iyonları bulunur ve Tanberg de bir paladyum plakasına negatif bir yük uygulayarak bu iyonları metalin içine yüksek bir yoğunlukta sıkıştırabileceği gibi bir mantık yürütmüştü. Bu deneyi gerçekleştirdiği zaman o da helyumla karşılaştı ve 1927'de helyumun bu yöntemle yapılışı için bir patent başvurusunda bulundu.

Bu başvurusu yeteri kadar anlaşılır ve açık olmadığı gerekçesiyle reddedildi. Çalışma rafa kalktı ve çok geçmeden anlaşıldı ki, helyum aslında füzyonla falan elde edilmiyordu. Helyum, atmosferden deneylerde kullanılan cam kaplara soğrularak elde ediliyordu. 1930'da, bu alanda en az James Chadwick ve Ernest Rutherford kadar yetkin kişiler hidrojen füzyonuna dair iddialara şu yanıtı verdiler: "Bu yaratılmış değil, zaten mevcut olan bir elementtir."

23 Mart 1989'da, paladyum elektrotları vasıtasıyla ağır suya elektroliz uygulanımında "sürdürülen nükleer füzyon" gözlemlediklerini açıklayan Pons ve Fleischmann'ın deneyleri üzerine, hiç kuşkusuz, Chadwick ve Rutherford da benzer bir yorum yapmakta gecikmezlerdi. Döteryumu da hidrojen gibi paladyum vasıtasıyla soğurmak mümkün, ancak füzyonla helyuma dönüştürülmesi için bu kadar uç koşullar sağlanması gerekmez (bkz. s. 151). Her halükârda, fizikçiler, enerji üretimi amacıyla nükleer füzyonu denetleme girişimlerinde bu koşulları sürdürülebilir hale getirmeyi asla başaramamışlardı. Şimdi ise iki kimyacı bu aşırı masraflı füzyon projelerine hiç gerek olmadığını

ileri sürüyorlardı; gereken tek şey, bir test tüpü ve iki paladyum çubuğuydu.

Pons ve Fleischmann ve diğer gruplar, füzyonun metaldeki küçük çatlaklarda, yani soğrulan döteryumun basıncının en fazla olduğu kısımlarda gerçekleşebileceğinden bahsediyorlardı. Ne var ki, fizikçiler yaptıkları hesaplarda bu koşulların füzyon üretmek için gereken aşırı koşulların yanına bile yaklaşamadığını belirtiyorlardı. Sonraki aylarda, diğer laboratuvarlarda "soğuk füzyon"un başarıyla uygulandığına dair yapılan pek çok açıklamaya karşın hiç kimse varsayımsal füzyon reaksiyon sonucunda elektroliz hücrelerden, yeniden üretilebilir ve sürdürülebilir "artı enerji" yaratmayı kanıtlayamıyordu. Pons ve Fleischmann'ın ilk ortaya attıkları iddia, temelde, bu türden bir artı enerji ölçümledikleri gerekçesine dayanıyordu. Oysa, bazı araştırmacılar şunun da altını çiziyordu: Şayet böyle bir enerjinin açığa çıktığı doğru bile olsa, bunun asıl kaynağı döteryum füzyonu olmalıydı, ki bu da ölümcül dozlarda nötron ışınımı salınması anlamına geliyordu. Dahası, bu kadar fazla hidrojenin yoğunlaştırılması kimyasal bir patlama meydana gelmesi ihtimalini de akla getiriyordu – ki Pons ve Fleischmann elektroliz deneylerinden birinde resmen bir "erime" gerçekleştiğini kaydetmişlerdi.

1989'un sonlarına gelindiğinde, soğuk füzyon, buna samimiyetle inanan küçük bir azınlık (on yıl sonrasında bile vazgeçmemişlerdi) dışında itibarını yitirmişti. Bilim insanları hem öfke hem de mahcubiyet içindeydiler fakat paladyumun eşsiz özellikleri bir kez daha takdir kazanmıştı.

İsveçli kimyacı Carl Gustav Mosander 1839'da lantanı keşfettiği zaman, aslında nasıl bir fitili ateşlediğinin farkında değildi. Mosander, lantanı seryum nitratın oksiti –bir "toprak" elementi– olarak çıkarmıştı. Mosander'in meslektaşı Berzelius buna Yunanca *lanthanein* (saklı olan) sözcüğünden gelen bir ad vermeyi önerdi.

Öte yandan, Mosander bu yeni elemente dair iki yıl boyunca resmi bir açıklama yapmadı; bütünüyle saf olduğundan emin olamamıştı. 1841'de bir başka "toprak" elementiyle karışık bir halde olduğunu, didimiyum adını verdiği ("ikiz" anlamına gelen Yunanca *didumos* sözcüğüne dayanarak) bir element daha içerdiğini ortaya çıkardı.

Fakat her şey burada bitmemişti. Diğer kimyacılar didimiyumun da saf bir element olmadığını, bir karışım olduğunu düşünüyorlardı. Neredeyse aynı davranıyor gibiydiler ve bu da kimyasal olarak onları bileşiklerine ayırmayı çok zorlaştırıyordu. Açıkça görülebilmeleri, madde ısıtıldığı zaman çıkan parlaklıktaki element emisyon çizgilerinden oluşan "barkod" incelendiğinde mümkün olabildi.

Galyumun kâşifi Paul-Émile Lecoq, 1879'da, didimiyumda samaryum adını verdiği bir başka element daha bulunduğunu açıkladı. Bir sonraki yıl, Cenevre'den Charles Galissard de Marignac bu özdekte bir diğer "toprak" olduğunu bulguladı ve Lecoq da bunu 1886'da izole ederek ona gadolinyum adını verdi. Bu arada, bizzat didimiyumun aslında hayali olduğu, Avusturya'dan Karl Auer'in 1885'te keşfettiği ve neodimyum ("yeni didimiyum") ve praseodimyum ("yeşil didimiyum") adlarını verdiği iki yeni

elementin bir karışımı olduğu ortaya çıktı. Peki o zaman bu "toprak" elementlerinden daha kaç tane vardı?

Aslında bu sayı on dörttü ve bunlara nadir toprak elementleri denildi – ki bu da yanlış bir adlandırmaydı, çünkü bunlar hiç de nadir değillerdi ve "toprak" değil, metaldiler. Lantanit demek çok daha uygun olurdu; en nihayetinde, Periyodik Tablo'da lantanın ardından geliyorlardı.* Mendeleyev'in şemasına uygun bir biçimde yerleştirilmeleri imkânsız olduğundan başlı başına bir grup oluşturuldu ve genellikle hemen altta yer alan bağımsız bir sırada gösterilirler. Lantanitler genel itibariyle benzer kimyasal davranışlar sergilerler ki ilk başta ayrıştırılmalarını zorlaştıran etken de bu olmuştu. Lantanitler, ana kaynakları Çin ve ABD'de olan monazit ve bastnazit gibi minerallerde bulunurlar.

1901'de, Paris'te, Eugène-Anatole Demarçay, o güne dek toplanan samaryum ve gadolinyum örneklerinin bir diğer nadir toprak elementi ürettiğini kanıtladı ve cömertlik göstererek ona Avrupa'dan hareketle evropiyum adını verdi. Doğrusu, bu elementin doğada bulunma oranı gruptaki diğer elementlerin tümünden fazlaydı: Evropiyumun yerkabuğundaki miktarı kalayın iki katıdır. Günümüzde ise oldukça farklı ve yararlı bir özelliği nedeniyle çıkarılıyor: Son derece "saf" olan kırmızı ve mavi bir ışık yayar.

Evropiyum, tıpkı diğer nadir toprak elementleri gibi, genellikle metal atomlarının üç elektron kaybederek üç pozitif yüklü iyonlara dönüştüğü bileşikler oluşturur. Bu

* 71 numaralı element lutesyum nadir bir toptak elementi olarak düşünülse de, bu, sözünü ettiğimiz lantanitlerden biri değil.

tür bir evropiyum iyonu, bir enerji kaynağıyla doğru bir biçimde uyarıldığında, görülebilir tayfta en zengin kırmızı ışığı yayar. Ancak, evropiyum diğer lantanitlerin aksine (samaryum hariç) ayrıca yalnızca çift yüklü ve bu kez mavi ışık yayan bir iyon –iki elektron eksiği olan– oluşturmaya da müsaittir.

Her iki evropiyum iyonu da renkli televizyon ekranları ve bilgisayar monitörlerinde kullanılan fosforlara katılır. Fosforlar, elektron ışınına maruz kaldıklarında ışık yayan özdeklerdir. Elektron ışını fosfordaki atomların elektronlarını uyararak daha enerjik bir hale getirir ki bu elektronlarda oluşan artı enerji ışık olarak yayılınca elektronlar tekrar eski hallerine dönerler.

Prensipte üç temel renk ışığından –kırmızı, mavi ve yeşil–* tüm renkleri elde etmek mümkündür. Bir televizyon ekranında ışık, temel renklerden oluşan ve normal görüş mesafesinden bakıldığında ayırt edilmeleri mümkün olmayacak kadar yakın bir biçimde yerleştirilen üç küçük fosfor noktasında karıştırılır.

Bir elektron ışınına maruz kaldığı zaman bu üç renk ışığını üreten birçok özdek vardır. Ne var ki, istenen, herhangi bir kırmızı, mavi ve yeşil ışık da değildir. Üç temel renk setinden elde edilebilecek bir dizi rengi belirleyen ne kadar "iyi" bir kırmızı, mavi ve yeşille başlandığıdır:

* Bunlar ressamların bildiği o üç temel renkle –kırmızı, mavi ve sarı– aynı değildir. Çünkü burada karıştırılan pigmentler (çıkarmalı karışım) değil, ışıktır (toplamalı karışım). Örneğin, kırmızı ve yeşil ışık sarı oluşturur; oysa, kırmızı ve yeşil pigmentler karıştırıldığında kirli bir kahverengi elde edilir. Ve mavi ve sarı ışık karışımı, yeşil değil, beyaz ışık oluşturur.

Örneğin, eğer maviniz çok soluk veya yeşile kaçıyorsa, çölün alacakaranlığındaki o koyu kraliyet mavisini –renkleri ne kadar karıştırırsanız karıştırın– elde edemezsiniz. Televizyon ekranlarında renklerin düzgün görünmelerini sağlamak için yoğun ve saf temel renkler üreten fosfora gereksinim vardır. Üreticiler 1960'ların başında evropiyum kullanmaya başlayana dek renkli televizyonlarındaki kırmızı renkler hep soluk kalıyordu.

Evropiyum hem kırmızı hem de mavi fosforların ihtiyaçlarını karşılayabiliyordu. Kırmızı için, evropiyum itriyum vanadat ve evropiyumla katkılanan itriyum oksisülfat kullanıldı. Mavi fosforlar ise evropiyumla katkılanan stronsiyum alüminattan elde ediliyordu. Televizyon ekranlarındaki yeşil fosfor genellikle tam anlamıyla doygun yeşiller üretemeyen çinko kadmiyum sülfattır. Bu da televizyon ekranınızın yeşilin bazı tonlarını tutturmayı hâlâ beceremediğini, yalnızca yaklaşık bir halini verebildiğini gösteriyor.

Bazı lantánit elementler de yeşil ışık yayarlar: Lantan, seryum ve terbiyum. Düşük-enerjili trikromatik floresan bir lambadaki üç temel rengin hepsi lantanit bileşiklerden oluşan bir karışımla sağlanabilir. Bu cihazda elektron ışınına değil de bir cıva arkından gelen morötesi ışığa verdikleri tepkiyle parlayan nadir-toprak fosfor materyaller bulunur: Buharlaşan cıvadan bir elektrik boşaltımı meydana gelir. Bunun sonucunda, fosforlar, yüksek enerjili morötesi ışığı görünür bir ışık seviyesine düşürür. Kırmızı unsur evropiyum ve itriyum karışımı içeren bir fosforla sağlanırken, mavi yalnızca evropiyumla (çifte yüklü) elde edilir. Kırmızı, yeşil ve mavi ışığın karışımı beyaz görünür. Trikroma-

tik lambalar normal lambalardan (akkor tel bulunan) çok daha uzun ömürlüdür ve daha az enerji tüketirler.

Tembel gaz

Mendeleyev'in 1869 tarihli Periyodik Tablo'sunda salt bazı boşluklar yoktu; bütün bir element grubu eksikti. Bunları kimsenin bulamamış olması pek şaşırtıcı da değil, çünkü diğer elementlerle tepkimeye girerek bileşik oluşturmazlar. Bu elementler soy gazlardır (inert veya nadir gazlar da denir) ve tablonun son grubunu oluştururlar.

En hafif soy gaz helyum aslında 1868'de keşfedilmişti – fakat yalnızca Güneş'te (bkz. s. 103-104). Hakkında o kadar az şey biliniyordu ki Mendeleyev onu tablonun dışında bırakmayı yeğlemişti. Dünya'daki helyum ise 1895'te, Londra'da, William Ramsay ve Morris Travers'in elementi uranyum minerallerinden izole etmesiyle bulundu. Uppsala'dan iki İsveçli kimyacı da hemen hemen aynı zamanda ve benzer şekilde bu elemente ulaştı. Ramsay helyum keşfinden bir yıl önce zaten bir başka soy gaz daha bulmuştu ki kesinlikle nadir olduğu söylenemezdi: Atmosferdeki miktarı yaklaşık altmış altı trilyon tondu. Bu gaza Yunanca "tembel" anlamına gelen *argos* sözcüğünden yola çıkarak argon adı verildi – çünkü hiçbir şey yapmıyordu.

Havanın yaklaşık %1'i argondur. Bu da aslında 18. yüzyılın pek "havalı" kimyacılarının gözünden kaçmamış olması gereken bir miktar: Henry Cavendish 1785'te havanın %1'inin diğer elementlerle birleşmeye direnç göste-

rir bir hali olduğunu not etmiş olsa da, bu gözlemin devamını getirmedi ve sonra da unutuldu gitti.

İngiliz fizikçi Lord Rayleigh, 1890'ların başında, iki farklı yolla elde edilen nitrojenin yoğunluklarının da farklı çıktığını bulguladı: Havadan elde edilenin yoğunluğu, amonyağın (nitrojen ve hidrojenden oluşan bir bileşik) ayrıştırılmasıyla elde edilenden biraz daha fazlaydı. Rayleigh ve Ramsay bu iki farklı nitrojeni araştırmaya koyulduklarında, Ramsay, atmosferdeki nitrojende nihayet ayrıştırmayı başarabildiği inert bir bileşen daha olduğunu keşfetti. Yalnız toplayabildikleri miktar çok azdı. Rayleigh 1894'te hayıflanarak şöyle demişti: "Tüm hayatım bu gazdan ibaret bir hale gelmişti. Toparlayabildiğim bir dirhem bile etmiyordu. Sonunda daha makûl bir miktar elde etmeyi başardım ama aynı ağırlıkta altının en az bin katına mal oldu."

En nihayetinde, Ramsay elementlerden yayılan tayf çizgilerinin gözlemlenmesi metodunu kullanarak bunun yeni bir element olduğunu doğrulamayı başardı. Rayleigh ve Ramsay 1894'te argonu keşfettiklerini açıkladı. Ramsay argon ve helyumun Periyodik Tablo'da olması gereken fakat daha önce fark edilmeyen yeni bir grubun üyesi olduğunu anlamıştı. O ve Travers sıvı argon üzerinde kapsamlı araştırmalar yaptılar ve 1898'de çok az miktarlarda üç diğer soy gaz barındırdığını ortaya çıkardılar: Neon ("yeni"), kripton ("saklı") ve ksenon ("yabancı"). Bu çalışmaları Ramsay'e 1904'te Nobel Kimya Ödülü'nü kazandırdı. (Rayleigh de aynı yıl fizik alanında bu ödüle layık görüldü.)

Bu grupta bir soy gaz daha var: 1900'de Alman Friedrich Ernst Dorn'un radyumun radyoaktif bozunumunun

bir ürünü olarak keşfettiği ve içlerindeki en ağır gaz olan radon. Ramsay yeterli miktarı elde ederek 1908'de özelliklerini ölçümlemeyi başardı.

Bugün elde edilebilen argon miktarı Ramsay ve Rayleigh'nin hayal bile edemeyeceği miktarlarda – sıvılaştırılmış havadan her yıl çıkarılan miktar 750,000 tonun üzerinde. Bu element ilk bakışta işe yaramaz gibi görünür – hiçbir şey yapmayan tembel birini kim işe almak ister ki? Ne var ki, argonun gücü tam da onun inert olmasında saklıdır. Eğer atmosfer basıncının kudretine karşı tampon bir bölge oluşturmak isteseniz, daha mükemmel bir gaz bulamazdınız: Bir nevi "basınçlı boşluk" gibidir. Bu bağlamda, tungsten akkor telli lambalarda ve floresan tüplerde argon kullanılır: Tel ne kadar ısınırsa ısınsın, argon tepkimeye girmez. Argon ayrıca modern çift-camlarda da kullanılır. İki cam panel arasındaki boşluk ısı iletimini en aza indirir, ancak hava basıncı panelleri birbirine iter. Argon havaya göre daha zayıf bir ısı iletkenidir; dolayısıyla iki panel arasındaki basıncı argonla sağlamak, havayla doldurulmuş çift-camlara kıyasla daha az ısı kaybına neden olacaktır.

Tepkimeye girmeye isteksiz bir itici güce sahip argon, ek olarak, oldukça ideal bir "taşıyıcı gaz"dır. Çelik yapımında ergimiş demire oksijen katmak için argon püskürtülür: Oksijen, karbonla tepkimeye girerek, kendini metalin içine yerleştirir. Argon pek çok farklı teknolojik işlemde küçük parçacıkların püskürtülmesinde kullanılır. Ve şundan emin olabilirsiniz, argon bu tür karışımlarda kesinlikle tepkimeye girmeyecektir: İlk kimyasal argon bileşiği ancak 2000 yılında yapılabilmiştir ve bu tuhaf özdeğin bağları öylesine narindir ki 246 °C altında dağılmaya başlar.

Her birinde aynı üç atomaltı parçacık olsa da, teknoloji araştırmacıları için bu elementler müthiş ve çok sayıda imkân sağlar. Sundukları çeşitlilik doğanın harikalarından biridir: Her ne kadar açıklanabilir de olsa, sarı sülfürün yanıcı fosfor ile kekremsi yeşil klorun tam ortasında yer alması oldukça garip. Alanında deha olan hiçbir aşçı yoktur ki bu denli basit malzemelerden böylesine zengin karışımlar elde edebilsin. Ve elementlerin keşfedildiği o heyecanlı dönem artık kapanmış da olsa (kontrolü zor, her defasında yalnız birkaç atom elde edilebilecek insan yapımı süperağır olanlar bir yana), elementlerden oluşan kombinasyonlar henüz kesinlikle tükenmiş değil. Hatta *bu* yolculuk daha yeni başlıyor desek yeridir.

Notlar

1. Aristoteles Dörtlüsü: Antik Dönem Elementleri

24 "Dört element kavramının modern kimyada pek işlerliği yok." N. Frye'ın giriş yazısından, G. Bachelard, *The Psychoanalysis of Fire* (Londra: Quartet Books, 1987), s. ix.
"Mümkün olduğuna inanıyorum." G. Bachelard, *Water and Dreams* (Dallas: Pegasus Foundation, 1983), 3.
"Memleket dediğimiz yer." A.g.e. 8.

33 "Birtakım cisimlerden." R. Boyle, *The Sceptical Chymist* (1661), W. H. Brock, *The Fontana History of Chemistry* (Londra: Fontana, 1992), s. 57'de alıntılanmıştır.

34 "Bazı iptidai ve basit." R. Boyle (1661). *The Sceptical Chymist* (1661), H. Boynton (yay. haz.), *The Beginnings of Modern Science* (Roslyn, NY: Walter J. Black Inc., 1948), s. 254'te alıntılanmıştır.

2. Devrim: Oksijen Dünyayı Nasıl Değiştirdi

38 *Oxygen*, C. Djerassi ve R. Hoffmann, (Wiley-VCH, Weinheim, 2001).

42 "Yapıyormuşuz gibi davranmadık." A. L. Lavoisier, *Ele-*

ments of Chemistry (1789), çev.: R. Kerr (1790), R. Boynton (yay. haz.), *The Beginnings of Modern Science* (Roslyn, NY: Walter J. Black Inc.,1948), s. 268-9'da alıntılanmıştır.

52 "Kimyacılar flojistonu bulanık bir ilke haline getirdiler." A. L. Lavoisier (1785), W. H. Brock, *The Fontana History of Chemistry*'de alıntılanmıştır (Londra: Fontana, 1992), 111-12.

"Aynı madde bu üç halden de başarıyla geçebilir." Lavoisier (1773), Brock, *The Fontana History of Chemistry*, s. 98'de alıntılanmıştır.

54 "Bir özdeğin element olduğunu söyleyebilmemiz için sadece halis olması yetmez." C. Coulston Gillispie (yay. haz.), *Dictionary of Scientific Biography* (New York: Scribner's, 1976), viii, 82; C. Cobb ve H. Goldwhite, *Creations of Fire* (New York: Plenum, 1995), s. 161'de alıntılanmıştır.

Güneş sistemi dışında bir gezegene ait ışık saptanmasına dair yapılan açıklama. A.

C. Cameron, K. Home, A. Penny ve D. James tarafından 'Probable Detection of Starlight Reflected from the Giant Planet Orbiting t Boötis' başlıklı makalede yayımlandı, *Nature*, 402 (1999), 751.

3. Altın: Muhteşem ve Lanetli Element

63 "Tüm kanunları çiğner." Vergilius, *Aeneas*, iii, 1. 55, G. Agricola, *De re metallica* (1556), çev.: H. C. Hoover ve L. H. Hoover (New York: Dover, 1950), s. 16'da alıntılanmıştır.

"Bu gerçekten de tam bir Altın Çağ." A.g.e., s. 10'da alıntılanmıştır.

65 "Artık gündelik yaşamımızın bir parçası." A.g.e., s. 10.
"Ben buraya yalnızca altınlarını almak için geldim." Pizarro, L. B. Wright, *Gold, Glory, and the Gospel: The Adventurous Lives and Times of the Renaissance Explorers* (New York: Atheneum, 1970), s. 229'da alıntılanmıştır.
"Altın evrensel bir ganimettir." J. Bronowski, *The Ascent of Man* (Londra: Book Club Associates, 1973), 134.

70 "Ağır bir iş yükünün olduğu madenlerden." Hoover ve Hoover, a.g.e., s. 279, not 8'de alıntılanmıştır.

72 "Altın topraktan çıkar." Plinius, *Natural History*, xxxiii, s. 21.

72 "Kolkhisliler kaynak sularının döküldüğü havuza hayvan derileri gererlerdi." Agricola, *De re metallica*, s. 330.

76 Bitki dokularından nasıl altın çıkarıldığı C. W. N. Anderson, R. R. Brooks, R. B. Stewart ve R. Simcock tarafından 'Harvesting a Crop of Gold in Plants', *Nature*, 395 (1998), s. 553-4'te anlatılır.

80 "Paranın kıymetini ve neye hizmet ettiğini bilmez misin?" Horatius, *Satires*, i, 1. s. 73.
"Zeki ve akıllı insanlar." Agricola, *De re metallica*, s. 17.
Altının ekonomik tarihinin ayrıntılı anlatımı için: P. L. Bernstein, *The Power of Gold* (New York: Wiley, 2000).

84 "Neden mi altınımız var?" A.g.e., s. 346'da alıntılanmıştır.

85 "Para birimleri." R. Mundell, *Wall Street Journal*, 10 Aralık 1999, serbest kürsü sayfasında.

87 "Hakiki İnsan." J. C. Cooper (1990), *Chinese Alchemy* (New York: Sterling Publishing Co., 1990), s. 66'da alıntılanmıştır.

89 Altın-yakut camdaki altının kimyasal durumuyla ilgili bilgiye daha çok yeni ulaşılmıştır: bkz. F. E. Wagner vd.,

'Before Striking Gold in Gold-Ruby Glass', *Nature*, 407 (2000), 691-2.

93 Altının inert doğasına dair açıklama için bkz. B. Hammer ve J. K. Nørskov, 'Why Gold is the Noblest of all the Metals', *Nature*, 376 (1995), 238-40.

4. Sekiz Aşamalı Yol: Elementlerin Düzenlenmesi

100 "Atomun gerçekliğine inanmaları için teşvik ettiler." W H. Brock, *The Fontana History of Chemistry* (Londra: Fontana, 1992), 139-40.

101 "Berzelius'un sembolleri korkunçlar." A.g.e., s. 139'da alıntılanmıştır.

103 *Prote hyle* kavramı ve yıldız evrimine dair ilk fikirler üzerine tartışmalar için bkz. S. F. Mason, *Chemical Evolution* (Oxford: Clarendon Press, 1992).

107 "Hayatım boyunca gördüğüm en inanılmaz hadiseydi." G. K. T. Conn ve H. D. Turner, *The Evolution of the Nuclear Atom* (Londra: Iliffe Books, 1965), s. 136'da alıntılanmıştır.

112 "İyi birine benziyor." B. Jaffe, *Crucibles: The Story of Chemistry* (New York: Dover, 1976), s.151'de alıntılanmıştır.

"Düşümde tüm elementlerin olması gereken konumlara yerleştiği bir tablo gördüm." P. Strathern, *Mendeleyev's Dream* (Londra: Penguin, 2000), s. 286'da alıntılanmıştır.

5. Atom Fabrikaları: Yeni Elementlerin Yapımı

128 Atom ve nükleer kimyanın ilk evrelerinin en başarılı

açıklamalarından biri için bkz. R. Rhodes, *The Making of the Atom Bomb* (New York: Simon & Schuster, 1986).

133 "Laboratuvarda bir ahmak." A. S. Eve, *Rutherford* (Londra: Macmillan, 1939), s. 102.

"Enerji deposunun şalterini ele geçiren kişi." F. Soddy, *Atomic Transmutation* (New World, 1953), s. 95.

141 "Elde ettiğin sonuçlar çok şaşırtıcı." L. Meitner'in O. Hahn'a mektubundan, 21 Aralık 1938, J. Lemmerich (yay. haz.), *Die Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung: Austellungskatalog* (Technische Universität Berlin, Universitätsbibliothek, 1988), s. 176. Ayrıca bkz. R. Lewin Sime, *Lise Meitner: A Life in Physics* (Berkeley ve Los Angeles: University of California Press, 1996), s. 235.

141 "Fisyonun keşfedilmesinin ardından." C. Weiner (yay. haz.), *Exploring the History of Nuclear Physics*, AIP Conference Proceedings No. 7 (American Institute of Physics, 1972), s. 90'da alıntılanmıştır.

147 "Bir bardak sudaki hidrojeni helyuma dönüştürmenin sonucunda çıkan enerji." F. Aston, 'Forty Years of Atomic Theory', J. Needham ve W. Pagel (yay. haz.), *Background to Modern Science* (Londra: Macmillan, 1938) içinde, s. 108.

"Elimizden gelen tek şey." A.g.e., s. 114.

148 "Evrende, biz ve tüm düşüncelerimiz dahil maddenin çokluğunun ve çeşitliliğinin oluşmasının ilk adımı." I. McEwan, *Enduring Love* (Londra: Vintage, 1998), s. 3.

154 Süper-ağır elementlerin üretimi üzerine kısa ve iyi bir açıklama ve kararlılık adası arayışları için bkz. R. Stone, *Science*, 278 (1997), 571, ve *Science*, 283 (1999), 474.

Bu konunun daha ayrıntılı bir incelemesi için bkz. G. T.

Seaborg ve W. D. Loveland, 'The search for new elements', N. Hall (yay. haz.), *The New Chemistry* (Cambridge: Cambridge University Press, 2000) içinde, s. 1.

155 Seaborgiyumun kimyasal özellikleri için bkz. M. Schädel vd., 'Chemical Properties of Element 106 (Seaborgium)', *Nature*, 388 (1997), s. 55.

6. Kimyasal Kardeşler: İzotopların Faydaları

163 "Buz adam" Oetzi'nin keşfedilmesinin öyküsü: B. Fowler, *Iceman* (New York: Random House, 2000).

173 Torino Kefeni'nin radyokarbon tarihlendirmesi üzerine bkz. P. E. Damon vd., 'Radiocarbon Dating of the Shroud of Turin', *Nature*, 337 (1989), s. 611.

175 En yaşlı zirkonlara ait kanıtlar ve bunların suyla etkileşimlerine dair bir inceleme için bkz. S. A. Wilde, J. W. Valley, W. H. Peck, ve C. M. Graham, 'Evidence from Detrital Zircons for the Existence of Continental Crust and Oceans on the Earth 4.4 Gyr Ago', *Nature*, 409 (2001), 175, ve S. J. Mojzsis, T. M. Harrison, ve R. T. Pidgeon, 'Oxygen-Isotope Evidence from Ancient Zircons for Liquid Water at the Earth's Surface 4,300 Myr Ago', *Nature*, 409 (2001), s. 178.

177 Bir yıldızın uranyum tarihlendirme raporu için bkz. R. Cayrel vd. 'Measurement of Stellar Age from Uranium Decay', *Nature*, 409 (2001), s. 691.

180 CLIMAP'ın derin-deniz tortul çekirdekleri araştırmaları doğrultusunda yeni bir küresel iklim değişikliği kavrayışı için bkz. J. Imbrie ve K. P. Imbrie, *Ice Ages* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1986).

181 Resim 15a için kaynak: N. J. Shackleton, A. Berger ve W. R. Peltier, 'An Alternative Astronomical Calibration of the Lower Pleistocene Timescale Based on ODP Site 677', *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, 81 (1990), 251.

Resim 15b için kaynak: J. Jouzel vd., 'Extending the Vostok Ice-Core Record of Palaeoclimate to the Penultimate Glacial Period', *Nature*, 364 (1993), 407.

7. Element Teknolojileri Her Yerde

204 "Zaten mevcut olan bir elementtir." J. Chadwick, C. D. Ellis ve E. Rutherford, *Radiation from Radioactive Substances* (Cambridge: Cambridge University Press, 1930).

Soğuk füzyonun acıklı öyküsü ve Pareth ve Peters'in çalışmalarından örnekler için bkz. F. Close, *Too Hot To Handle* (Princeton: Princeton University Press, 1991).

206 Nadir toprak elementlerin endüstriyel kullanımlarına dair açıklamalar için bkz. D. Lutz, 'The Quietly Expanding Rare-Earth Market', *The Industrial Physicist*, 2/3 (Eylül 1996), s. 28.

211 "Tüm hayatım bu gazdan ibaret bir hale gelmişti." B. Jaffe, *Crucibles: The Story of Chemistry* (New York: Dover, 1976), s. 159.

212 İlk argon bileşiği raporu için bkz. L. Khriachtchev, M. Pettersson, N. Runeberg, J. Lundell ve M. Räsänen, 'A Stable Argon Compound', *Nature*, 406 (2000), s. 874.

İleri Okuma

Atkins, P., *The Periodic Kingdom* (Londra: Weidenfeld & Nicolson, 1995).
Brock, W. H., *The Fontana History of Chemistry* (Londra: Fontana, 1992).
Cobb, C., ve Goldwhite, H., *Creations of Fire* (New York: Plenum, 1995).
Emsley, J, *Nature's Building Blocks* (Oxford: Oxford University Press, 2001).
Gray, H. B., Simon, J. D., ve Trogler, W. C., *Braving the Elements* (Sausalito, Calif.: University Science Books, 1995).
Jaffe, B., *Crucibles: The Story of Chemistry* (New York: Dover, 1976).
Sass, S. L. (1998), *The Substance of Civilization* (New York: Arcade, 1998).
Strathern, P., *Mendeleyev's Dream* (Londra: Penguin, 2000).

Elementlerle ilgili olarak internetten bilgi almak için:
www.webelements.com

ELEMENTLER

PHILIP BALL

Türkçesi: NURSU ÖRGE

ELEMENTLERDEN SÖZ EDEN BİR KİTABIN BASİTÇE BİLİM TARİHİNİN BELLİ BİR KESİTİNİ ELE ALDIĞI DÜŞÜNÜLEBİLSE DE, ELEMENTLERİN KONU OLDUĞU BİLİMSEL KEŞİF VE YENİLİKLERİN ÇOK DAHA GENİŞ ÖLÇEKLİ SONUÇLAR DOĞURDUĞUNA KUŞKU YOKTUR. PERİYODİK TABLO MERKEZİNDE TEMELLENDİRİLMİŞ HERHANGİ BİR KİMYA ANLATISININ HAYLİ ÖTESİNE GEÇEN YAZAR, ANTİK YUNAN FİLOZOFLARINDAN UZAY ÇAĞININ ŞAŞIRTICI GELİŞMELERİNE DEK OLDUKÇA GENİŞ BİR ARALIKTA KALEM OYNATIYOR. DÜNYANIN HANGİ MADDEDEN YAPILDIĞI GİBİ BASİT BİR SORUNUN NASIL SINIRSIZ BİR EVRENİN KAPILARINI ARALADIĞINI USTALIKLA BETİMLERKEN, BİR YANDAN DA BU BAŞ DÖNDÜRÜCÜ BULUŞLARIN SOSYAL AĞA VE KÜLTÜR TARİHİNE NASIL DERİNDEN NÜFUZ ETTİĞİNİ AÇIKÇA GÖZLER ÖNÜNE SERİYOR.

Kültür Kitaplığı: 155; Bilim: 11





D